



**PENGARUH POLUTAN LUMUT *BRYUM SP* TERHADAP
TEGANGAN *FLASHOVER* PADA ISOLATOR POLIMER
JENIS TARIK MENGGUNAKAN METODE
*SLOW RATE OF RISE TEST***

SKRIPSI

Oleh

**Muhammad Syahrizal Indra Mawardi
NIM 121910201102**

**PROGRAM STUDI STRATA-1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2018**



**PENGARUH POLUTAN LUMUT *BRYUM SP* TERHADAP
TEGANGAN *FLASHOVER* PADA ISOLATOR POLIMER
JENIS TARIK MENGGUNAKAN METODE
*SLOW RATE OF RISE TEST***

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi skripsi dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Elektro (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

oleh

**Muhammad Syahrizal Indra Mawardi
NIM 121910201102**

**PROGRAM STUDI STRATA-1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2018**

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk :

1. Allah SWT yang telah memberikan limpahan berkah dan nikmat yang luar biasa kepadaku baik kesempatan dan kekuatan lahir batin untuk menuntut ilmu dan menyelesaikan tahap ini beserta Nabi Muhammad SAW yang selalu menjadi panutan dalam setiap langkah;
2. Orang tua tercinta, Ayahanda (Alm) Muhadi Widjaja dan Ibunda Ninik Syahfiarni yang telah memberikan doa, bimbingan, kasih sayang, dukungan, kerja keras, perjuangan dan pengorbanan kepada saya dalam meraih segala impian dan cita-cita;
3. Kakak-kakakku Nanang Widodo, Yuni Dwi Rahmawati, Arif Tri Wibowo, Nugroho Sulistyو Raharjo atas doa, semangat, dan dukungan yang diberikan kepadaku;
4. Semua guru dan dosen sejak taman kanak-kanak hingga perguruan tinggi yang telah ikhlas mendidik dan memberikan ilmu pengetahuan dengan penuh kasih sayang dan kesabaran kepada penulis;
5. Almamater tercinta, Fakultas Teknik Universitas Jember yang saya banggakan sebagai tempat bagi saya untuk menimba ilmu khususnya dibidang teknik elektro.

MOTTO

Dan Allah tidak menjadikan pemberian bala bantuan itu melainkan sebagai kabar gembira bagi (kemenangan) mu, dan agar tentram hatimu karenanya. Dan kemenanganmu itu hanyalah dari Allah Yang Maha Perkasa lagi Maha Bijaksana. (terjemahan Q.S. Ali Imran ayat 126)¹

Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan. Maka apabila kamu telah selesai (dari suatu urusan), kerjakanlah dengan sungguh-sungguh (urusan) yang lain. (terjemahan Q.S. Al-Insyirah ayat 6 - 7)¹

¹ Departemen Agama Republik Indonesia. 1998. *Al Qur'an dan Terjemahannya*. Semarang: PT Kumodasmoro Grafindo

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Syahrizal Indra Mawardi

Nim : 121910201102

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul: “Pengaruh Polutan Lumut *Bryum SP* Terhadap Tegangan *Flashover* Pada Isolator Polimer Jenis Tarik Menggunakan Metode *Slow Rate of Rise Test*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 30 April 2018

Yang Menyatakan,

Muhammad Syahrizal I M

NIM 121910201102

SKRIPSI

**PENGARUH POLUTAN LUMUT *BRYUM SP* TERHADAP
TEGANGAN *FLASHOVER* PADA ISOLATOR POLIMER
JENIS TARIK MENGGUNAKAN METODE
*SLOW RATE OF RISE TEST***

Oleh

Muhammad Syahrizal Indra Mawardi

NIM 121910201102

Pembimbing:

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Prof. Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Pengaruh Polutan Lumut *Bryum SP* Terhadap Tegangan *Flashover* Pada Isolator Polimer Jenis Tarik Menggunakan Metode *Slow Rate of Rise Test*” karya Muhammad Syahrizal Indra Mawardi telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal : Senin, 30 April 2018

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

Ketua,

Anggota I,

Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T.
NIP. 19710402 200312 1 001

Prof. Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M.
NIP. 19631201 199402 1 002

Anggota II,

Anggota III,

Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T.
NIP. 19700404 199601 1 001

RB. Moch Gozali, S.T., M.T.
NIP. 19690608 199903 1 002

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Dr. Ir. Entin Hidayah, M. U. M.
NIP 196612151995032001

Pengaruh Polutan Lumut *Bryum SP* Terhadap Tegangan *Flashover* Pada Isolator Polimer Jenis Tarik Menggunakan Metode *Slow Rate of Rise Test*

Muhammad Syahrizal Indra Mawardi

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember

ABSTRAK

Tegangan flashover merupakan suatu kegagalan isolasi yang terjadi karena adanya pembebanan medan listrik pada permukaan isolator yang melebihi kapasitas ketahanan elektriknya. Flashover dapat menimbulkan pemanasan dan dapat merusak isolator. Penyebab terjadinya flashover di antaranya yaitu karena pengotoran pada permukaan isolator tersebut. Pada perkembangannya telah ditemukan beberapa kasus yang menyebutkan bahwa terjadi pertumbuhan mikrobiologi pada permukaan isolator, terutama pada daerah beriklim tropis. Pada daerah selatan pantai Pulau Jawa, diberitahukan sering terjadi flashover pada isolator saluran distribusi 20 kV. Pengaruh lingkungan yang banyak mengandung bahan- bahan polutan seperti lumut bryum sp dan garam. Isolator yang diuji berupa isolator polimer jenis tarik menggunakan metode yang sesuai dengan standar American Standard Test Method, ASTM-D149, yakni metode Slow Rate of Rise Test di mana metode ini dijalankan dengan menaikkan tegangan spesimen secara bertahap dengan laju tegangan konstan, mulai dari tegangan uji awal hingga spesimen mengalami tegangan tembus listrik. Terjadinya tembus listrik ini harus pada waktu lebih dari 120 detik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai tegangan flashover akan semakin turun, seiring dengan bertambah besarnya nilai ESDD. Kemudian hasil data yang diperoleh dengan isolator polimer jenis tarik pada polutan lumut bryum sp saat ESDD sebesar 0,082 mg/cm², dengan tegangan flashover sebesar 43,667 kV isolator mengalami penurunan kinerja terbanyak, yakni sebesar 17,609 %, dan pada polutan garam saat ESDD sebesar 0,104 mg/cm², dengan tegangan flashover sebesar 38,333 kV isolator mengalami penurunan kinerja terbanyak, yakni sebesar 27,673 %.

Kata kunci: *ESDD, lumut bryum sp, garam, isolator polimer jenis tarik, Slow Rate Of Rise Test, tegangan flashover.*

Effect of *Bryum SP* Mossage on *Flashover* Voltage at Polymer type Tensile Insulator Using *Slow Rate of Rise Test Method*

Muhammad Syahrizal Indra Mawardi

Departement of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember

ABSTRACT

Flashover voltage is an isolation failure that occurs due to the loading of electric field on the surface of the insulator that exceeds its electrical resistance capacity. Flashover can cause heating and can damage the insulator. The cause of the flashover of which is due to the contamination on the surface of the insulator. In its development has been found several cases that mentions that there is microbiological growth on the surface of the insulator, especially in tropical climates. In the southern coast of Java Island, it is noticed frequent flashover on the 20 kV distribution channel isolator. Environmental influences that contain many pollutant materials such as bryum sp and bromine. The isolator tested in the form of a tensile polymer insulator using the method according to American Standard Test Method standard ASTM-D149, the Slow Rate of Rise Test method in which the method is run by gradually increasing the voltage of the specimen with constant voltage rate, starting from the test voltage beginning until the specimen is subjected to an electric breakdown voltage. The occurrence of this electrical break must be in more than 120 seconds. The results showed that the flashover voltage value will decrease, along with the increase of ESDD value. Then the data obtained with tensile polymer type isolator on bossum sp moss pollutant at ESDD 0,082 mg / cm², with flashover voltage of 43,667 kV isolator experienced the most decrease of performance, that is equal to 17,609%, and at salt pollutant when ESDD 0,104 mg / cm², with a flashover voltage of 38.333 kV isolator experienced the most decrease in performance, that is equal to 27.673%.

Keywords: *ESDD, moss bryum sp, salt, tensile polymer type insulator, Slow Rate Of Rise Test, flashover voltage.*

RINGKASAN

Pengaruh Polutan Lumut *Bryum SP* Terhadap Tegangan *Flashover* Pada Isolator Polimer Jenis Tarik Menggunakan Metode *Slow Rate of Rise Test*; Muhammad Syahrizal Indra Mawardi, 121910201102; 2018; 80 halaman; Fakultas Teknik Universitas Jember.

Pentingnya peranan isolator pada sistem transmisi dan distribusi sebagai peralatan yang penting dalam penyaluran energi listrik. Karena itu isolator sangat penting dalam sistem penyaluran energi listrik, maka perlu dijaga keandalannya. Salah satu cara untuk menjaga keandalannya yaitu dengan menguji tegangan *flashover* pada isolator. *Flashover* adalah suatu kegagalan isolasi yang terjadi karena adanya pembebanan medan listrik pada permukaan isolator melebihi kapasitas ketahanan elektriknya. *Flashover* dapat menimbulkan pemanasan dan dapat merusak isolator. Penyebab terjadinya *flashover* di antaranya yaitu karena pengotoran permukaan isolator. Pada kasus pengotoran permukaan isolator, umumnya disebabkan karena adanya bahan polutan yang menempel pada permukaan isolator seperti bahan polutan lumut *bryum sp*. Lumut merupakan bahan polutan yang sering dijumpai pada daerah yang banyak pohon atau hutan tropis dan lembap. Biasanya pada jaringan distribusi 20 kV yang berlokasi di daerah pegunungan. Sehingga pada jaringan listriknya terutama komponen berupa isolator sering terkontaminasi lumut, hal ini dapat berpengaruh terhadap sistem kelistrikan. Sehingga pada jaringan listriknya terutama komponen berupa isolator dapat terpengaruh adanya bahan polutan lumut. Untuk itu perlu dilakukan penelitian tentang pengaruh bahan polutan yang terkontaminasi lumut pada isolator polimer.

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh perbandingan antara bahan polutan lumut *bryum sp* dan polutan garam terhadap tegangan *flashover* pada isolator polimer jenis tarik menggunakan metode *Slow Rate of Rise Test*, serta untuk mengetahui hasil perbandingan antara dua polutan yang berbeda pada hasil pengujian dalam kondisi kering dan basah dan serta dalam kondisi

isolator tanpa polutan dan dalam kondisi isolator berpolutan dengan variasi sudut penyemprotan 30°, 60°, 90°, dan 120° serta dengan empat buah sudut tersebut secara langsung.

Isolator diuji menggunakan metode yang sesuai dengan standar *American Standard Test Method*, ASTM-D149. Standar pengujian ASTM-D149, yakni metode *Slow Rate of Rise Test*, yang mana metode ini dijalankan dengan menaikkan tegangan spesimen secara bertahap dengan laju tegangan konstan, mulai dari tegangan uji *start* V_s hingga spesimen mengalami tegangan tembus listrik. Hal ini ditandai dengan terjadinya suara letupan dan percikan api di permukaan isolator seiring dengan terjadinya *flashover* pada isolator. Terjadinya tembus listrik ini harus pada waktu lebih dari 120 detik sejak tegangan pengujian dikenakan pada spesimennya. Apabila dalam pengujian sekelompok spesimen, lebih dari satu spesimen yang mengalami tembus listrik pada waktu kurang dari 120 detik, perlu dilakukan tindakan sebagai berikut : tegangan uji *start* V_s dikurangi, atau laju tegangan ($\Delta V/\Delta t$) diturunkan, atau mengurangi tegangan uji *start* V_s dan laju tegangan secara bersamaan. Jika lebih dari satu spesimen mengalami tembus listrik pada tegangan yang kurang dari $1,5V_s$ maka nilai tegangan uji *start* V_s dikurangi. Jika tembus listrik terjadi pada tegangan $2,5V_s$ dan waktu terjadinya tembus listrik lebih dari 120 detik, nilai V_s dinaikkan. Pengambilan data dilakukan dengan melakukan pengulangan sebanyak tiga kali, kemudian diambil rata-ratanya.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai tegangan *flashover* akan semakin turun, seiring dengan bertambah besarnya nilai ESDD. Kemudian hasil data yang diperoleh dengan isolator polimer jenis tarik pada polutan lumut *bryum sp* saat ESDD sebesar $0,082 \text{ mg /cm}^2$, dengan tegangan *flashover* sebesar 43,667 kV isolator mengalami penurunan kinerja terbanyak, yakni sebesar 17,609 %, dan pada polutan garam saat ESDD sebesar $0,104 \text{ mg /cm}^2$, dengan tegangan *flashover* sebesar 38,333 kV isolator mengalami penurunan kinerja terbanyak, yakni sebesar 27,673 %.

PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Polutan Lumut *Bryum SP* Terhadap Tegangan *Flashover* Pada Isolator Polimer Jenis Tarik Menggunakan Metode *Slow Rate of Rise Test*”. Skripsi ini disusun guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan studi strata satu (S1) pada Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam penulisan skripsi ini tidak lepas dari dukungan, bantuan serta motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada:

1. Allah SWT atas semua karunia yang diberikan, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir untuk mencapai gelar Sarjana Teknik;
2. Ibu Dr. Ir. Entin Hidayah M.U.M selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember;
3. Bapak Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama dan Bapak Prof. Dr. Ir Bambang Sujanarko, M.M. Selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah banyak membantu, meluangkan waktu, pikiran, dan perhatiannya untuk membimbing penulis untuk menyelesaikan penelitian dan skripsi ini;
4. Bapak Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji I dan Bapak RB. Moch Gozali, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji II yang telah meluangkan waktu untuk menguji, mengevaluasi, memberikan saran dan penilaian terhadap skripsi ini;
5. Bapak Catur Suko Sarwono, S.T., M.Si selaku Dosen Pembimbing Akademik atas segala bimbingan dan kesabarannya dalam membimbing penulis selama masa studi sampai tugas akhir;

6. Bapak dan Ibu Dosen Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah mengamalkan ilmunya dan memperluas ilmu pengetahuan serta wawasan penulis selama menempuh masa kuliah;
7. Ayahanda (Alm) Muhadi Widjaja dan Ibunda Ninik Syahfiarni serta kakak-kakakku Nanang Widodo, Yuni Dwi Rahmawati, Arif Tri Wibowo, Nugroho Sulistyo Raharjo tercinta yang sejak aku lahir sampai dengan sekarang dan kelak akan senantiasa memberikan dukungan, doa dan pengorbanan serta menjadi sumber motivasi dan inspirasi;
8. Teman-teman seperjuangan Angkatan 2012 Teknik Elektro Universitas Jember “SATE UJ” semuanya atas kebaikan dan bantuan selama kuliah ini;
9. Teman-teman kos patrang SR3/10 atas kebaikannya dan bantuan selama masa kuliah ini;
10. Dan semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu atas bantuan, perhatian, dan inspirasi bagi penulis dalam menyelesaikan penelitian ini dan mendoakan kesuksesan ujian skripsi ini.

Penulis menerima saran dan kritik yang membangun dari pembaca sekalian demi kesempurnaan skripsi ini. Penulis juga berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Jember, 30 April 2018

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PEMBIMBING	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
RINGKASAN	ix
PRAKATA	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR GAMBAR	xix
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah	4
1.6 Sistematika Penulisan	5
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Isolasi	6
2.2 Isolator Saluran Udara	6
2.2.1 Bahan-bahan Isolasi	6
2.2.2 Bahan Polimer Resin Epoksi	6
2.3 Karakteristik Isolator	7
2.3.1 Karakteristik Elektrik	7

2.3.2 Karakteristik Mekanis	8
2.4 Kegagalan Isolator	9
2.4.1 Kegagalan Isolator dalam Melaksanakan Fungsinya	10
2.5 Flashover pada Isolator	10
2.6 Isolator Berpolutan	12
2.6.1 Sifat Polutan	12
2.6.1.1 Polutan Yang Bersifat Konduktif	12
2.6.1.2 Polutan Yang Bersifat Inert	12
2.6.2 Pembentukan Polutan pada Isolator	13
2.6.3 Penggolongan Tingkat Pengotoran.....	14
2.7 Lumut	15
2.7.1 Ciri – Ciri Lumut	15
2.7.2 Lumut Bryum SP.	16
2.8 Pembentukan Lapisan Lumut pada Permukaan Isolator	18
2.9 Menghitung ESDD dan Konduktivitas.....	18
2.10 American Standard Test Method (ASTM).....	19
2.10.1 Metode <i>Short Time</i>	20
2.10.2 Metode <i>Step by Step Test</i>	21
2.10.3 Metode <i>Slow Rate of Rise Test</i>	22
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	24
3.1 Metode Penelitian	24
3.1.1 Studi Literatur	24
3.1.2 Praktek Langsung	24
3.1.3 Pengambilan Data	27
3.1.4 Analisis Data	29
3.2 Diagram Alir Penelitian	29
3.3 Proses Kontaminasi Lumut <i>Bryum SP</i> pada Isolator	
Polimer Jenis Tarik	31
3.4 Hasil Proses Kontaminasi Lumut <i>Bryum SP</i> pada Isolator	
Polimer Jenis Tarik menggunakan SEM	
(Scanning Elektrone Microscope)	33

BAB 4. ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN	36
4.1 Perhitungan <i>Equivalent Salt Deposit Density</i> (ESDD) Pada Pengujian Isolator Berbahan Polimer	36
4.2 Hasil Pengujian Tegangan <i>Flashover</i> Pada Isolator Berbahan Polimer Jenis Tarik	44
4.2.1 Hasil Pengujian Tegangan <i>Flashover</i> Pada Isolator Polimer Jenis Tarik Menggunakan Polutan Lumut <i>Bryum SP</i>	44
4.2.2 Hasil Pengujian Tegangan <i>Flashover</i> Pada Isolator Polimer Jenis Tarik Menggunakan Polutan Garam	49
4.3 Perbandingan Hasil Pengujian Tegangan <i>Flashover</i> Pada Isolator Berbahan Polimer Jenis Tarik Menggunakan Polutan Lumut <i>Bryum SP</i> dan Polutan Garam	54
4.3.1 Hasil Pengujian Tegangan <i>Flashover</i> Pada Isolator Berbahan Polimer Jenis Tarik Kondisi Kering dan Basah Menggunakan Polutan Lumut <i>Bryum SP</i>	55
4.3.2 Hasil Pengujian Tegangan <i>Flashover</i> Pada Isolator Berbahan Polimer Jenis Tarik Kondisi Kering dan Basah Menggunakan Polutan Garam	60
4.3.3 Perbandingan Hasil Pengujian Tegangan <i>Flashover</i> Pada Isolator Polimer Jenis Tarik Menggunakan Polutan Lumut <i>Bryum SP</i> dan Polutan Garam Pada Kondisi Kering	66
4.3.4 Perbandingan Hasil Pengujian Tegangan <i>Flashover</i> Pada Isolator Polimer Jenis Tarik Menggunakan Polutan Lumut <i>Bryum SP</i> dan Polutan Garam Pada Kondisi Basah	71
BAB 5. PENUTUP	77
5.1 Kesimpulan	77
5.2 Saran	77
DAFTAR PUSTAKA	78

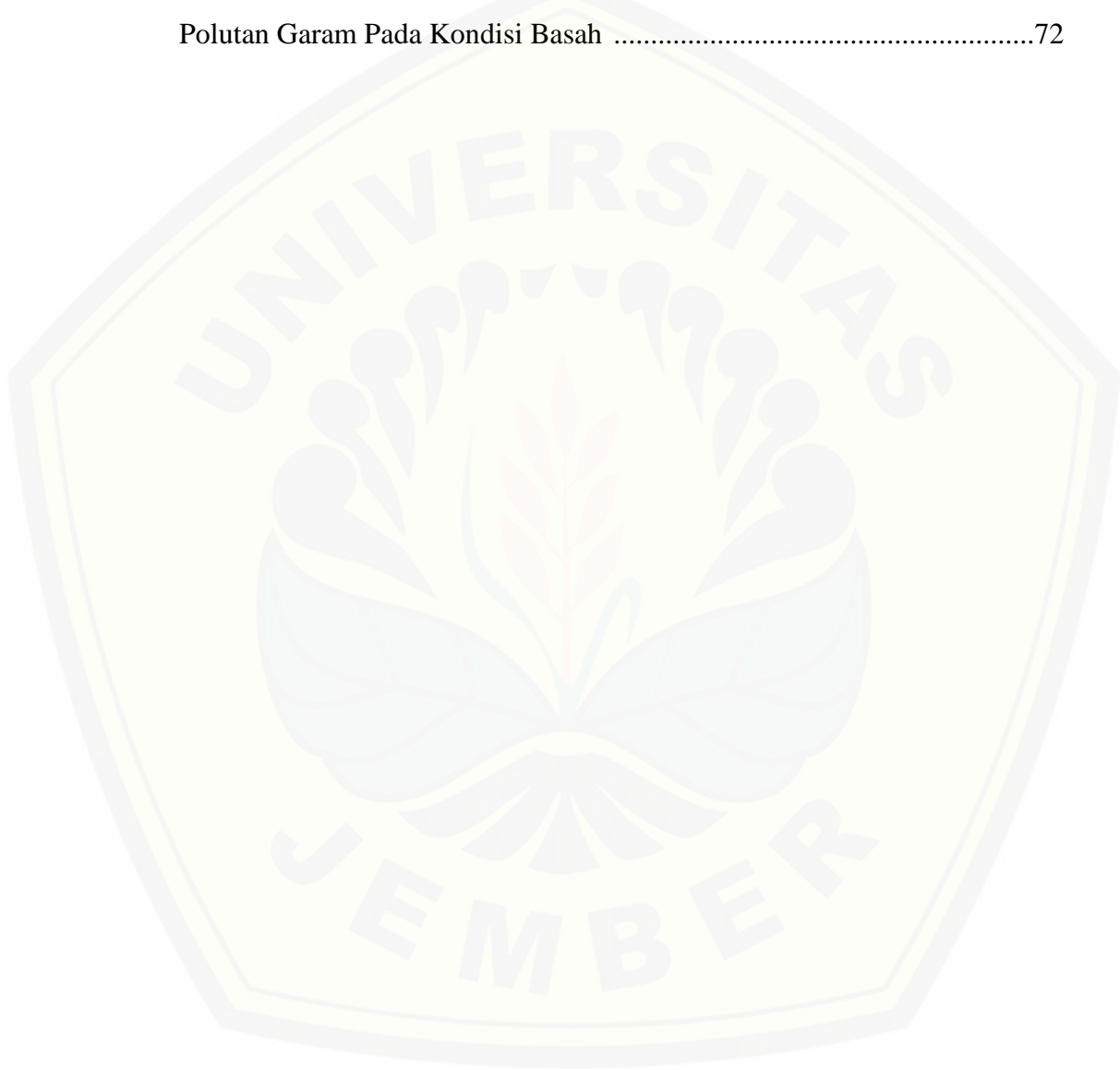
LAMPIRAN	81
1. PERHITUNGAN	81
2. DATA HASIL PENGUJIAN	93
3. DOKUMENTASI PENELITIAN	109



DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Penggolongan Tingkat Pengotoran Berdasarkan Kondisi Geografis.....	14
2.1 Penggolongan Tingkat Pengotoran	15
3.1 Hasil Pengamatan Proses Kontaminasi Lumut <i>Bryum SP</i> pada Isolator Polimer Jenis Tarik Menggunakan SEM	34
4.1 Hasil Pengukuran Konduktivitas, ESDD, dan Tingkat Pengotoran Pada Isolator Polimer Jenis Tarik Kondisi Kering Menggunakan Polutan Lumut <i>Bryum SP</i>	38
4.2 Hasil Pengukuran Konduktivitas, ESDD, dan Tingkat Pengotoran Pada Isolator Polimer Jenis Tarik Kondisi Basah Menggunakan Polutan Lumut <i>Bryum SP</i>	40
4.3 Hasil Pengukuran Konduktivitas, ESDD, dan Tingkat Pengotoran Pada Isolator Polimer Jenis Tarik Kondisi Kering Menggunakan Polutan Garam	41
4.4 Hasil Pengukuran Konduktivitas, ESDD, dan Tingkat Pengotoran Pada Isolator Polimer Jenis Tarik Kondisi Basah Menggunakan Polutan Garam	43
4.5 Hasil Pengujian Isolator Polimer Jenis Tarik Pada Kondisi Kering Menggunakan Polutan Lumut <i>Bryum SP</i>	45
4.6 Hasil Pengujian Isolator Berbahan Polimer Jenis Tarik Pada Kondisi Basah Menggunakan Polutan Lumut <i>Bryum SP</i>	47
4.7 Hasil Pengujian Isolator Polimer Jenis Tarik Pada Kondisi Kering Menggunakan Polutan Garam	50
4.8 Hasil Pengujian Isolator Berbahan Polimer Jenis Tarik Pada Kondisi Basah Menggunakan Polutan Garam	52
4.9 Perbandingan Tegangan <i>Flashover</i> Pada Isolator Berbahan Polimer Jenis Tarik Pada Kondisi Kering dan Basah Polutan Lumut <i>Bryum SP</i>	56
4.10 Perbandingan Tegangan <i>Flashover</i> Pada Isolator Berbahan Polimer Jenis Tarik Pada Kondisi Kering dan Basah Polutan Garam	62

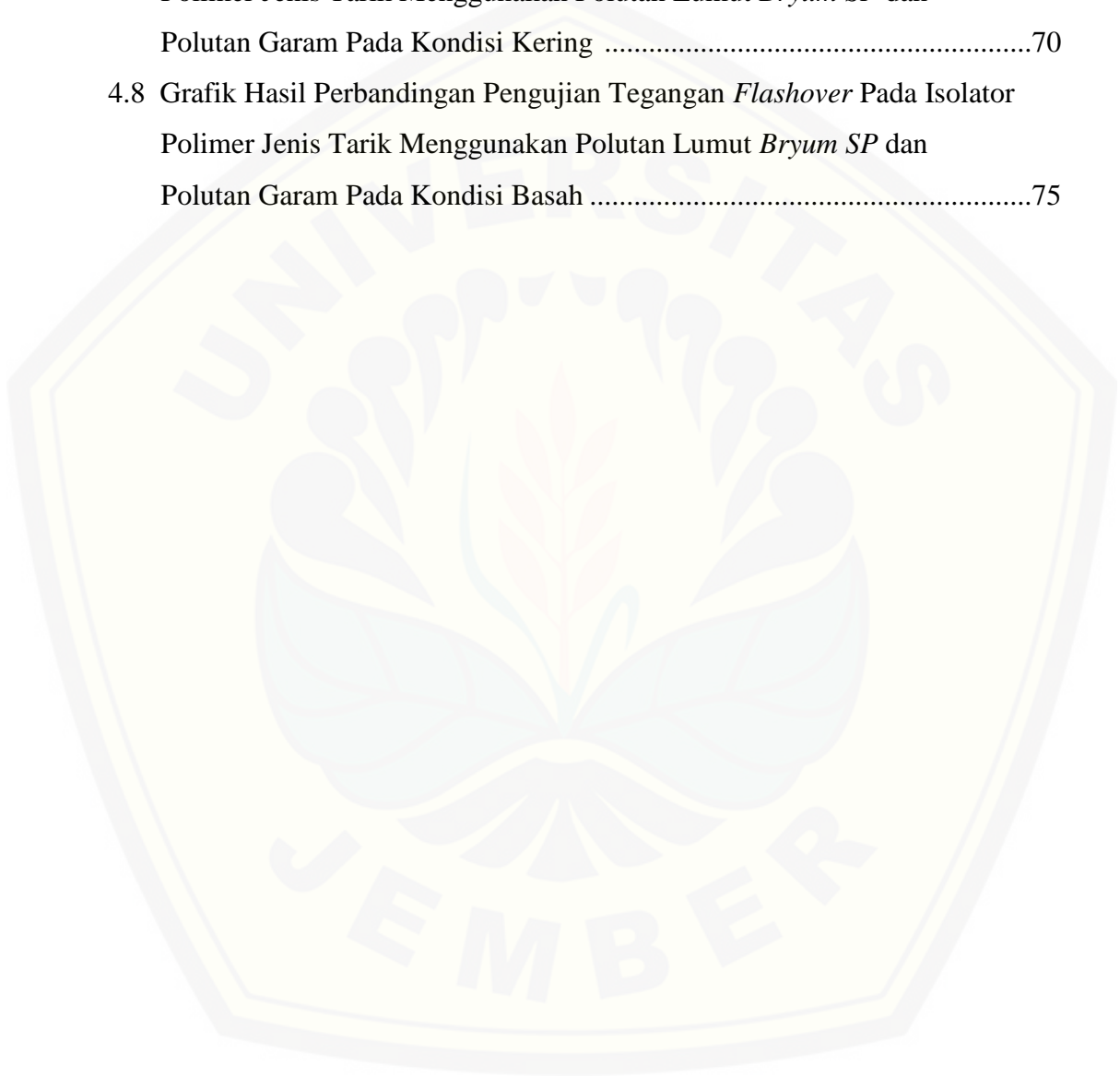
4.11 Perbandingan Hasil Pengujian Tegangan <i>Flashover</i> Pada Isolator Polimer Jenis Tarik Menggunakan Polutan Lumut <i>Bryum SP</i> dan Polutan Garam Pada Kondisi Kering	67
4.12 Perbandingan Hasil Pengujian Tegangan <i>Flashover</i> Pada Isolator Polimer Jenis Tarik Menggunakan Polutan Lumut <i>Bryum SP</i> dan Polutan Garam Pada Kondisi Basah	72



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Isolator Berbahan Polimer Jenis Tarik	7
2.2 Kegagalan Isolator	11
2.3 Struktur / bagian tubuh lumut	15
2.4 Isolator berpolutan lumut	17
2.5 Statistik kondisi abnormal isolator	17
2.6 Profil pengujian dengan kenaikan tegangan perlahan	23
3.1 Proses Penyemprotan Isolator Polimer Jenis Tarik.....	25
3.2 Rangkaian Pengujian Tegangan <i>Flashover</i>	26
3.3 Pengukuran Konduktivitas Menggunakan EC Meter	27
3.4 Flowchart Pengujian Tegangan <i>Flashover</i> Laboratorium Tegangan Tinggi Institut Teknologi Sepuluh November (ITS)	30
3.5 Flowchart Proses Kontaminasi Lumut Bryum SP pada Isolator Polimer Jenis Tarik Laboratorium Departemen Teknik Material dan Metarulugi ITS	32
3.6 Proses Kontaminasi Lumut Bryum SP pada Isolator Polimer Jenis Tarik ..	33
4.1 Hubungan Antara Nilai ESDD dengan nilai Tegangan V <i>Flashover</i> pada Isolator Polimer Jenis Tarik pada Kondisi Kering Menggunakan Polutan Lumut <i>Bryum SP</i>	46
4.2 Hubungan Antara Nilai ESDD dengan nilai Tegangan V <i>Flashover</i> pada Isolator Polimer Jenis Tarik pada Kondisi Basah Menggunakan Polutan Lumut <i>Bryum SP</i>	48
4.3 Hubungan Antara Nilai ESDD dengan nilai Tegangan V <i>Flashover</i> pada Isolator Polimer Jenis Tarik pada Kondisi kering Menggunakan Polutan Garam	51
4.4 Hubungan Antara Nilai ESDD dengan nilai Tegangan V <i>Flashover</i> pada Isolator Polimer Jenis Tarik pada Kondisi Basah Menggunakan Polutan Garam	53
4.5 Grafik Hasil Perbandingan Tegangan <i>Flashover</i> Pada Isolator Berbahan Polimer Jenis Tarik Kondisi Kering dan Basah Menggunakan Polutan	

Lumut <i>Bryum SP</i>	59
4.6 Grafik Hasil Perbandingan Tegangan <i>Flashover</i> Pada Isolator Polimer Jenis Tarik Kondisi Kering dan Basah Menggunakan Polutan Garam	65
4.7 Grafik Hasil Perbandingan Pengujian Tegangan <i>Flashover</i> Pada Isolator Polimer Jenis Tarik Menggunakan Polutan Lumut <i>Bryum SP</i> dan Polutan Garam Pada Kondisi Kering	70
4.8 Grafik Hasil Perbandingan Pengujian Tegangan <i>Flashover</i> Pada Isolator Polimer Jenis Tarik Menggunakan Polutan Lumut <i>Bryum SP</i> dan Polutan Garam Pada Kondisi Basah	75



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tenaga listrik merupakan sarana produksi dalam kehidupan sehari-hari dan memegang peranan penting dalam kehidupan yang modern saat ini dalam upaya memberikan suatu kebutuhan yang diperlukan oleh masyarakat. Oleh sebab itu suatu sistem pada ketenagalistrikan yang handal, merupakan suatu jaringan listrik yang terpadu meliputi pusat pembangkit tenaga listrik, jaringan transmisi dan jaringan distribusi. Mengingat perusahaan ketenagalistrikan seperti PLN (Perusahaan Listrik Negara) yang berdaya besar cenderung berlokasi disekitar pegunungan dan di pantai, dengan tujuan untuk mempermudah sarana transportasi dalam pengangkutan peralatan maupun bahan bakarnya, sehingga mentransformasikan energi listrik sampai ke konsumen (masyarakat) maka diperlukan suatu saluran transmisi dan distribusi (M.Suyanto, 2010).

Inti dari permasalahan dalam pendistribusian energi listrik adalah sering terjadinya kegagalan dalam saluran transmisi maupun distribusi yang diakibatkan oleh *flashover*, terjadinya *flashover* dikarenakan pengotoran permukaan isolator maupun kerusakan mekanis pada isolator. Isolator memiliki sifat untuk memisahkan antara dua buah penghantar atau lebih sehingga untuk mencegah terjadinya kebocoran arus listrik. Apabila isolator tersebut gagal menjalankan fungsinya maka akan terjadi *flashover* (Mokhammad Irfangi, 2017).

Pentingnya peranan isolator pada sistem transmisi dan distribusi sebagai peralatan yang penting dalam penyaluran energi listrik. Karena itu isolator sangat penting dalam sistem penyaluran energi listrik, maka perlu dijaga keandalannya. Salah satu cara untuk menjaga keandalannya yaitu dengan menguji tegangan *flashover* pada isolator. Di Indonesia pemakaian isolator kebanyakan memakai isolator berbahan polimer, keramik, dan gelas. Masing-masing bahan tersebut memiliki kelebihan dan kekurangan tersendiri. pada isolator polimer memiliki kekurangan mudah terdegradasi akibat faktor lingkungan seperti radiasi sinar ultra violet, kelembaban udara, polusi udara (Yosafat, 2014). Dengan adanya kekurangan

tersebut menyebabkan terjadinya kegagalan isolasi yang disebabkan adanya pengaruh bahan polutan.

Flashover adalah suatu kegagalan isolasi yang terjadi karena adanya pembebanan medan listrik pada permukaan isolator melebihi kapasitas ketahanan elektriknya. *Flashover* dapat menimbulkan pemanasan dan dapat merusak isolator. Penyebab terjadinya *flashover* di antaranya yaitu karena pengotoran permukaan isolator, surja hubung, dan surja petir (Wardhani, 2011). Pada kasus pengotoran permukaan isolator, umumnya disebabkan karena adanya bahan polutan yang menempel pada permukaan isolator seperti bahan polutan debu, abu terbang, pasir, garam dan lumut.

Pada perkembangannya telah ditemukan beberapa kasus yang menyebutkan bahwa terjadi pertumbuhan mikrobiologi pada permukaan isolator polimer, terutama pada daerah beriklim tropis (Teguh Aryo Nugroho, I Made Yulistya Negara, Dimas Anton Asfani. 2015). Pada daerah selatan pantai Pulau Jawa, diberitahukan sering terjadi *flashover* pada isolator saluran distribusi 20 kV. Pengaruh lingkungan yang banyak mengandung bahan- bahan polutan seperti debu, abu terbang, pasir, garam dan lumut yang diawali oleh lapisan partikel – partikel (zat pengotor) pada permukaan isolator. Zat pengotor ini akan menurunkan kekuatan isolasi pada isolator disebabkan oleh dua faktor yaitu zat pengotor (*contaminant*) itu sendiri dan kelembapan (M.Suyanto, 2010).Terkait dalam masalah tersebut maka dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap isolator polimer jenis tarik oleh pengaruh kontaminasi (zat pengotor) polutan buatan yaitu polutan lumut *bryum sp.*

Lumut merupakan bahan polutan yang sering dijumpai pada daerah yang banyak pohon atau hutan tropis dan lembap. Biasanya pada jaringan distribusi 20 kV yang berlokasi di daerah pegunungan. Sehingga pada jaringan listriknya terutama komponen berupa isolator sering terkontaminasi lumut, hal ini dapat berpengaruh terhadap sistem kelistrikan. Untuk itu perlu dilakukan penelitian tentang pengaruh bahan polutan yang terkontaminasi lumut pada isolator polimer.

Pada penelitian ini, isolator akan diuji menggunakan metode yang sesuai dengan standar *American Standard Test Method*, ASTM-D149. Standar pengujian

ASTM-D149 terdiri dari tiga buah metode, yaitu metode *Short Time*, *Step by Step Test*, dan *Slow Rate of Rise Test* (Tobing, 2012). Metode *Short Time Test* adalah pengujian yang paling umum digunakan untuk menguji kontrol kualitas. Sedangkan metode *Step by Step Test* dan *Slow Rate of Rise Test* biasanya akan menghasilkan pengujian yang kurang baik, namun akan memberikan hasil yang lebih baik jika menggunakan perbedaan bahan uji dan kemudian dibandingkan satu sama lain (Mokhammad Irfangi, 2017).

Dalam hal ini peneliti memilih memakai metode *Slow Rate of Rise Test* untuk mengetahui besarnya tegangan tembus sampai terjadinya tegangan *flashover*. Metode *Slow Rate of Rise Test* yaitu dijalankan menggunakan hasil uji awal yang diperoleh dari hasil uji *Short Time Test* atau uji waktu singkat, kemudian tegangan dinaikkan perlahan hingga terjadi tegangan tembus, akan tetapi dengan syarat waktu harus lebih dari 120 detik untuk mencapai tegangan tembus (ASTM D149, 2009). Hal ini bertujuan agar dapat membandingkan dengan penelitian yang sebelumnya. Sehingga peneliti berharap dengan adanya penelitian ini bisa melengkapi analisis tentang tegangan *flashover* pada isolator polimer dengan variasi bahan polutan dan metode yang digunakan.

1.2 Rumusan Masalah

Sebagaimana latar belakang yang telah dipaparkan, maka dalam penelitian ini dapat dirumuskan beberapa masalah yaitu :

1. Bagaimana pengaruh bahan polutan lumut *bryum sp.* terhadap tegangan *flashover* pada isolator polimer jenis tarik menggunakan metode *Slow Rate of Rise Test*?
2. Bagaimana hasil perbandingan dua polutan yang berbeda yaitu polutan lumut *bryum sp* dan polutan garam dengan variasi sudut penyemprotan 30°, 60°, 90°, dan 120° serta dengan empat buah sudut tersebut secara langsung?
3. Bagaimana hasil perbandingan antara hasil uji penelitian dalam kondisi kering dan basah, serta dalam kondisi permukaan isolator bersih dan permukaan isolator yang terkontaminasi bahan polutan buatan dengan variasi sudut

penyemprotan 30°, 60°, 90°, dan 120° serta dengan empat buah sudut tersebut secara langsung?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh bahan polutan lumut terhadap tegangan *flashover* pada isolator polimer jenis tarik menggunakan metode *Slow Rate of Rise Test*.
2. Mengetahui hasil perbandingan dua polutan yang berbeda yaitu polutan lumut *bryum sp* dan polutan garam dengan variasi sudut penyemprotan 30°, 60°, 90°, dan 120° serta dengan empat buah sudut tersebut secara langsung?
3. Mengetahui hasil perbandingan antara hasil uji penelitian dalam kondisi kering dan basah, serta dalam kondisi permukaan isolator bersih dan permukaan isolator yang terkontaminasi bahan polutan buatan dengan variasi sudut penyemprotan 30°, 60°, 90°, dan 120° serta dengan empat buah sudut tersebut secara langsung.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk melengkapi analisis tentang tegangan *flashover* pada isolator polimer jenis tarik dengan variasi bahan polutan dan metode yang diterapkan.
2. Sebagai referensi dalam upaya perbaikan keandalan kinerja isolator saat permukaan isolator terdapat polutan lumut *bryum sp*.

1.5 Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan di atas maka pembahasan dibatasi pada :

1. Isolator yang digunakan pada penelitian yaitu isolator yang digunakan pada jaringan distribusi SUTM 20 kV.
2. Pada proses kontaminasi pada isolator jenis tarik dengan menggunakan polutan buatan yaitu polutan lumut *bryum sp* yang dibutuhkan waktu kurang lebih 4 – 6 minggu.

3. Pada proses mikroskopis untuk melihat isolator yang terkontaminasi dibutuhkan peralatan SEM (Scanning Electrone Microscope).
4. Diasumsikan saat proses pengujian pada permukaan isolator hanya ada bahan polutan lumut *bryum sp* dan polutan garam NaCl
5. Jarak penyemprotan polutan diasumsikan yaitu 30 cm.
6. Selama proses pengujian, tekanan udara, kelembaban, suhu, dan temperatur udara dalam laboratorium diasumsikan sudah mewakili kondisi udara secara umum.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan tugas akhir ini tersusun secara sistematis serta terdiri dari beberapa bagian yang saling berhubungan dengan harapan menjadi mudah dipahami dan diambil manfaatnya. Adapun uraian singkat mengenai sistematika penulisan tugas akhir ini ialah sebagai berikut.

BAB 1. PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika pembahasan.

BAB 2. TINJUAN PUSTAKA

Berisi penjelesan tentang teori yang berhubungan dengan isolator, pengaruh bahan polutan terhadap tegangan *flashover* menggunakan metode *Slow Rate of Rise Test*.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Berisi tentang metode kajian yang digunakan untuk menyelesaikan skripsi.

BAB 4. PEMBAHASAN

Berisi tentang hasil pengujian tegangan *flashover* yang dipengaruhi dari dua polutan buatan yang berbeda yaitu polutan lumut *bryum sp* dan polutan garam menggunakan metode *Slow Rate of Rise Test*.

BAB 5. PENUTUP

Menguraikan kesimpulan yang didapatkan dari penelitian dan saran untuk penelitian berikutnya.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Isolasi

Isolasi merupakan sifat atau bahan yang dapat memisahkan secara elektrik dua buah penghantar atau lebih yang berdekatan, sehingga tidak terjadi kebocoran arus, atau *flashover*. Sedangkan sistem isolasi adalah gabungan dari beberapa bahan isolasi yang dirancang untuk memisahkan bagian-bagian peralatan listrik yang berbeda potensial.

Isolator memiliki sifat untuk dapat memisahkan secara elektrik dua buah penghantar atau lebih, sehingga arus tidak terus mengalir dari konduktor jaringan ke tanah. Dengan demikian konstruksi isolator harus diperhatikan dan bahan isolasi harus mempunyai kekuatan dielektrik yang baik sehingga sifat hantarannya dapat berkurang.

2.2 Isolator Saluran Udara

2.2.1 Bahan-bahan Isolasi

Bahan isolasi yang sering dipakai pada isolator saluran udara pada tegangan tinggi (diatas 1 kV) adalah bahan polimer (Yosafat, 2014).

2.2.2 Bahan Polimer Resin Epoksi

Resin epoksi merupakan plastik yang menawarkan kegunaan yang luar biasa yaitu: kekuatan dielektrik tinggi, resistan kimiawi yang baik dan daya pelekatan yang baik.

Cairan resin epoksi merupakan cairan yang memiliki sifat kekentalan yang rendah, sehingga mudah bercampur (masuk tahap *thermoset*) didalam permbuatannya. Jenis cairan resin yang lain adalah : *phenolic*, *polyesters*, *acrykics* yang dibuat dalam proses yang sama, tapi resin epoksi memiliki kelebihan yaitu konstruksi lebih ringan (rapat massa rendah), sifat dielektrik, resistifitas volume dan sifat thermal lebih baik, bersifat *hydrophopic* (anti air), dan proses pembuatan lebih cepat. Adapun kekurangan yang dimiliki oleh isolator polimer adalah penuaan atau degradasi pada permukaan isolator, kekuatan mekaniknya kecil atau kurang bagus,

kompabilitas material, kurang tahan terhadap perubahan cuaca, dan bahan mentah relatif mahal (Rahman, 2012). Dibawah ini adalah gambar isolator berbahan polimer jenis Tarik



Gambar 2.1 Isolator Berbahan Polimer Jenis Tarik

2.3 Karakteristik Isolator

2.3.1 Karakteristik Elektrik

Karakteristik elektrik dari isolator yang dimaksud adalah kemampuan menahan *flashover* dan arus bocor. Isolator yang dipasang pada jaringan udara sangat mudah terpengaruh oleh perubahan kondisi lingkungan. Perubahan-perubahan tersebut dapat mempengaruhi kinerja dari isolator, yaitu kemampuan isolator untuk menahan tegangan. Apabila di permukaan isolator terbentuk lapisan polutan akan mempengaruhi kinerja dari isolator tersebut. Kinerja isolator akan berbeda apabila permukaan isolator dalam kondisi basah maupun pada kondisi kering (Setiaji, 2012).

Isolator terdiri dari bahan isolasi yang diapit oleh elektroda-elektroda. Dengan demikian, maka isolator terdiri dari sejumlah kapasitansi, yang disebabkan oleh tegangan pada isolator menjadi tidak seragam. Potensial pada ujung yang terkena tegangan (bagian ujung yang memegang kawat penghantar) adalah paling besar (Yosafat, 2014).

Karakteristik elektrik suatu isolator dapat dinilai dari tegangan *flashover* yang terdiri dari tegangan-tegangan *flashover* frekuensi rendah, impuls, dan tembus merusak (*puncture*).

1. Tegangan *flashover* frekuensi rendah kering (*dry power frequency flashover voltage*) adalah tegangan *flashover* yang terjadi bila tegangan diterapkan di antara kedua elektroda isolator yang bersih dan kering permukaannya, nilainya konstan serta merupakan nilai dasar dari karakteristik isolator.
2. Tegangan *flashover* frekuensi rendah basah (*wet power frequency flashover voltage*) adalah tegangan *flashover* yang terjadi bila tegangan diterapkan di antara dua elektroda isolator yang basah karena hujan atau sengaja dibasahi.
3. Tegangan *flashover* impuls (*impuls flashover voltage*) adalah tegangan *flashover* yang terjadi bila tegangan impuls dengan gelombang standar diterapkan. Menurut standar IEC besarnya gelombang impuls standar adalah. Karakteristik impuls terbagi atas polaritas positif dan negatif. Biasanya, tegangan dengan polaritas positif yang dipakai (memberikan nilai *flashover* lebih rendah). Untuk polaritas positif, tegangan *flashover* basah dan kering sama.
4. Tegangan tembus (*puncture*) merupakan tegangan tembus yang menyebabkan perusakan bahan isolasinya. Sedangkan perusakan bagian isolator yang disebabkan oleh pemanasan lebih tidak dikategorikan sebagai *puncture*.

2.3.2 Karakteristik Mekanis

Karakteristik mekanis suatu isolator dapat ditandai dengan kekuatan mekanisnya, yaitu beban mekanis terendah, yang dapat merusak isolator tersebut. Kekuatan mekanis ini ditentukan dengan cara membebani isolator dengan beban yang bertambah secara bertahap sehingga isolator terlihat rusak.

Isolator harus mempunyai kekuatan mekanis untuk memikul beban mekanis penghantar yang diisolasi. Bahan isolasi sebagai bagian utama sebuah isolator, mempunyai sifat sebagai besi cor, dengan kuat tekan (*compressive strength*) yang besar dan kuat tarik (*tensile strength*) yang lebih kecil. Untuk porselin, kuat tariknya 400-900 kg/cm², sedangkan kuat tekannya 10 kali lebih besar.

Gaya tarik pada isolator yang telah terpasang relatif besar, sehingga kekuatan bahan isolasi dan bagian-bagian yang disemenkan padanya harus dibuat lebih besar dari kekuatan bagian-bagian logamnya.

2.4 Kegagalan Isolator

Secara garis besar isolator tegangan tinggi mempunyai dua fungsi, yaitu fungsi mekanik dan elektrik. Secara mekanik, isolator untuk mendukung atau menahan konduktor pada tegangan tinggi, sedangkan secara elektrik isolator berfungsi sebagai pemisah, yaitu untuk mencegah mengalirnya arus dari penghantar ke tanah atau ke menara penopang saluran udara. Pada saluran transmisi atau distribusi kegagalan isolasi dapat disebabkan oleh hal-hal sebagai berikut:

1. Isolator pecah, disebabkan pemuaihan yang tidak merata dan kontraksi yang terjadi di dalam semen, baja, dan bahan porselin. Kegagalan ini juga bisa disebabkan pergantian musim yang mencolok dan pemanasan berlebih.
2. Bahan tidak dapat mengkilap, sehingga air akan tetap tinggal padanya, lalu menyebabkan penimbunan debu dan kotoran membentuk lapisan yang bersifat menghantar dan memperpendek jarak rayap (*creepage-distance*).
3. Bahan isolasi berlubang-lubang. Lubang terjadi karena bahan porselin diproses pada suhu rendah hingga mudah menyerap air. Kejadian ini menurunkan kekuatan isolasi dan arus merambat melalui isolator.
4. Ketidakmurnian bahan isolasi. Di tempat yang mengalami ketidakmurnian bahan isolasi pun akan terjadi kebocoran.
5. Tekanan secara mekanis, misalnya karena penumpukkan isolator. Jika bahannya kurang kuat dapat menyebabkan isolator pecah.

Tembus (*puncture*) dan *flashover*. *Flashover* yaitu pelepasan muatan destruktif (bersifat merusak) yang melintasi pada seluruh bagian permukaan isolator. Pelepasan muatan ini disebabkan pembebanan medan listrik pada permukaan isolator melebihi harga ketahanan elektriknya. *Flashover* menimbulkan pemanasan dan ini dapat merusak isolator. Penyebabnya yaitu pengotoran permukaan isolator, surja hubung, dan surja petir. Sedangkan tembus (*puncture*)

adalah pelepasan muatan destruktif pada bagian isolasi isolator, khusus terjadi pada isolator yang padat.

2.4.1 Kegagalan Isolator dalam Melaksanakan Fungsinya

Kegagalan-kegagalan isolator dalam melaksanakan fungsinya dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu:

1. Kegagalan tembus (*breakdown*), biasanya disebabkan oleh faktor luar seperti sambaran petir. Persoalan ini dapat ditanggulangi oleh pengaman tanduk sehingga tidak mengenai isolator. Akibat kegagalan tembus (*breakdown*), karakteristik elektrik dari isolator tidak dapat pulih seperti semula dan sebagian isolator mengalami kerusakan mekanik sehingga tidak dapat digunakan kembali.
2. Kegagalan *flashover*, umumnya bergantung pada tahanan permukaan dan bentuk isolator. Kegagalan ini biasanya disebabkan oleh kondisi lingkungan. Peristiwa *flashover* menyebabkan terjadinya kerusakan pada permukaan isolator.

2.5 *Flashover* pada Isolator

Flashover adalah gangguan eksternal yang terjadi akibat permukaan isolator yang disebabkan oleh berbagai faktor, diantaranya yaitu suhu, kelembaban, dan lingkungan sekitarnya (debu, asap pabrik, dan polutan garam). *Flashover* yang terjadi pada permukaan isolator padat disebabkan oleh tegangan yang harus menahan permukaan isolator melebihi kemampuannya (Setiaji, 2012). Tegangan *flashover* adalah ukuran tegangan yang dapat ditahan isolator sampai terjadinya *flashover*.

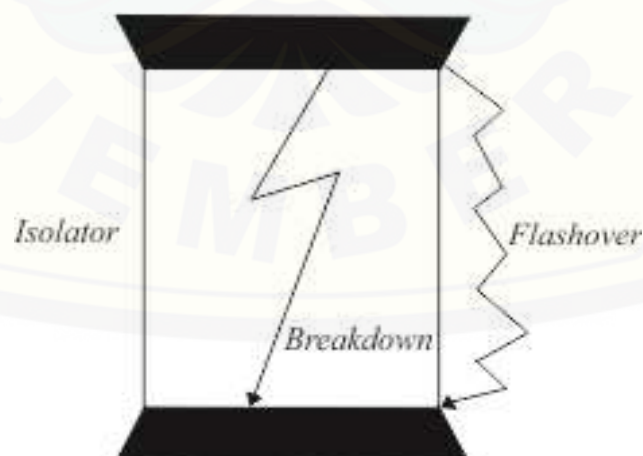
Tegangan *flashover* terjadi akibat polusi yang berbeda-beda terutama tergantung pada material, dapat larut terhadap air walaupun jumlah materialnya pada permukaan isolator adalah sama. Hal tersebut tergantung pada jenis-jenis komponen dapat terlarut (Amali, 2012).

Dalam keadaan bersih, nilai suatu tahanan isolator sangat besar. Apabila terbentuk lapisan zat pengotor pada permukaannya akan menyebabkan turunnya nilai tahanan isolator. Ketika lapisan pengotor mengalami pembasahan, nilai tahanan semakin turun. Penurunan tahanan ini akan memperbesar arus bocor yang

mengalir melalui permukaan isolator. Meningkatnya arus bocor akan menimbulkan terjadinya proses penguapan. Pada tempat yang mendapatkan rapat arus terbesar akan terbentuk pita kering karena lapisan pengotor pada daerah ini lebih cepat kering. Daerah pita kering mempunyai tahanan yang lebih besar jika dibandingkan daerah terkotori lainnya. Keadaan ini menyebabkan terjadinya peluahan muatan (*discharge*) melintasi pita kering. Bila busur api memanjang melintasi seluruh permukaan isolator maka akan terjadi *flashover* (Amalia, 2012).

Di Indonesia pada musim kemarau terjadi penumpukan partikel-partikel kontaminan pada permukaan isolator dengan jenis dan tingkat kontaminan yang berbeda-beda. Sesuai dengan kondisi sekitar isolator itu dipasang, semakin jauh dari pantai, semakin kecil *Equivalent Salt Deposit Density* (ESDD) nya. Tegangan *flashover* pada permukaan isolator kering lebih tinggi dari pada tegangan *flashover* pada udara lembab, sehingga dalam keadaan basah atau lembab isolator mudah terjadi *flashover*.

Kegagalan tegangan pada isolator dapat dibedakan dalam dua kejadian, yaitu kegagalan tegangan tembus (*puncture voltage*) dan kegagalan permukaan yang berupa *flashover*. Tegangan gagal *flashover* lebih rendah dari tegangan gagal tembus. Apabila isolator mengalami tegangan tembus, maka isolator dapat mengalami kerusakan total (hancur) (Rahman, 2012).



Gambar 2.2 Kegagalan Isolator
(Mokhammad Irfangi, 2017)

Kegagalan *flashover* berawal dari terbentuknya pita kering (*dry band*). Terbentuknya lapisan konduktif di permukaan isolator diakibatkan oleh adanya polutan yang menempel. Lapisan ini yang menyebabkan mengalirnya arus bocor (*leakage current*). Dengan mengalirnya arus bocor, terjadi pemanasan di lapisan tersebut. Lapisan ini dapat membentuk pita kering akibat dialiri arus bocor secara terus menerus. Pada tegangan tertentu, kondisi ini dapat menyebabkan pelepasan muatan melintasi pita kering. Pelepasan muatan dapat memanjang sehingga terbentuk busur listrik (*arc*) dan terjadi *flashover* yang melalui seluruh permukaan isolator (Yosafat, 2014).

2.6 Isolator Berpolutan

2.6.1 Sifat Polutan

Polutan yang dapat mempengaruhi tahanan permukaan isolator dibagi menjadi dua jenis, polutan yang bersifat konduktif dan polutan yang bersifat inert.

2.6.1.1 Polutan Yang Bersifat Konduktif

Polutan yang bersifat konduktif yaitu polutan yang mampu menghantarkan arus listrik. Terdiri dari garam-garam yang mampu terurai menjadi ion-ion misalnya NaCl, MgCl₂, Na₂SO₄, dan lain sebagainya. Dalam suatu larutan garam-garam tersebut mudah terurai dan dapat mempengaruhi tahanan permukaan pada isolator, karena garam-garam tersebut akan membentuk suatu lapisan konduktif pada permukaan isolator.

Adanya polusi garam ini mempengaruhi terjadinya tahanan permukaan pada isolator. Garam yang sukar larut lebih kecil pengaruhnya pada terjadinya tahanan permukaan dibandingkan dengan garam yang mudah larut. Beberapa komponen konduktif pada daerah industri yang dapat larut membentuk larutan asam yang bersifat konduktif, misalnya gas SO₂, yang membentuk H₂SO₄.

2.6.1.2 Polutan Yang Bersifat Inert

Polutan yang bersifat lembam merupakan bagian dari zat padat yang tidak terurai menjadi ion-ion dalam larutan, namun komponen ini dapat menyebabkan ketahanan permukaan isolator. Zat-zat seperti SiO₂, tanah liat (kaolin) dapat

membentuk suatu ikatan mekanis untuk mengikat komponen-komponen konduktif. Ikatan mekanis yang terbentuk akan mempersulit proses pencucian isolator. Perbedaan tingkat pengotoran antara permukaan atas dengan permukaan bawah akan terlihat pada isolator yang banyak mengandung komponen yang bersifat lembam.

Polutan lembam terbagi menjadi dua sifat yakni *hydrophilic* dan *hydrophobic*. Komponen *hydrophilic* dapat meningkatkan tingkat kebasahan permukaan isolator karena kemampuannya menyerap air, contohnya tanah liat dan semen. Sedangkan komponen *hydrophobic* menurunkan tingkat kebasahan isolator, karena sifat kedap air, contohnya lemak dan oli (minyak), yang menyebabkan air tidak dapat menempel pada permukaan isolator sehingga lapisan konduktif yang terbentuk tidak kontinyu.

Penyebab terbesar dari terbentuknya tahanan permukaan adalah polutan yang bersifat konduktif. Konduktifitas polutan per satuan luas dapat dinyatakan dengan ESDD (*equivalent salt deposit density*). Dimana menurut IEEE banyaknya ESDD ini dapat dibedakan menjadi sangat ringan, ringan, sedang, dan berat, tergantung pada kondisi sekelilingnya.

2.6.2 Pembentukan Polutan pada Isolator

Sebagian besar zat pengotor, baik yang bersifat konduktif maupun bersifat lembam dibawa oleh angin ke permukaan isolator. Hal ini berarti bahwa arah angin sangat mempengaruhi pola pembentukan endapan pada permukaan isolator. Pada daerah yang mempunyai arah angin relatif tetap, maka tumpukan zat pengotor biasanya lebih banyak terdapat di daerah permukaan isolator yang terbentuknya tidak beraturan.

Pengumpulan partikel-partikel yang dibawa angin sangat dipengaruhi oleh besarnya medan elektrostatis, terutama pada bagian-bagian yang mengalami stress tegangan besar, yaitu di sekitar pasak isolator gantung. Pengaruh ini terutama terlihat pada isolator tegangan tinggi searah yang mempunyai polaritas tetap. Pemanasan oleh arus bocor yang mengalami stress tegangan tinggi menghalangi proses pencucian oleh alam dan mempertinggi permukaan zat pengotor. Pada

isolator dengan tegangan bolak-balik dengan arus bocor lebih besar dibandingkan pengaruh medan elektrostatis. Medan elektrostatis akan mengikat partikel-partikel melalui proses polarisasi begitu menyentuh permukaan isolator.

Berdasarkan lama pembentukan lapisan pengotor pada permukaan isolator, proses pengotoran dapat dikategorikan menjadi dua, yaitu pengotoran cepat yang terjadi dalam keadaan angin kencang, seperti topan, badai, hujan batu, dan lain sebagainya, pengotor dapat mengumpul pada permukaan isolator dengan sangat cepat dan kondisi pengotoran yang berlangsung lama disebut pengotoran biasa.

2.6.3 Penggolongan Tingkat Pengotoran

Menurut standar IEC 815 penggolongan tingkat pengotoran isolator yang dipengaruhi kondisi geografis di suatu tempat dapat digolongkan seperti pada tabel di bawah ini :

Tabel 2.1 Penggolongan Tingkat Pengotoran Berdasarkan Kondisi Geografis

Tingkat Pengotoran	ESDD (mg/cm ²)
Ringan	0,03 – 0,06
Sedang	0,1 – 0,2
Berat	0,3 – 0,6
Sangat Berat	> 0,6

Sedangkan menurut standar IEEE tingkat pengotoran pada isolator dapat digolongkan pada tabel berikut :

Tabel 2.2 Penggolongan Tingkat Pengotoran

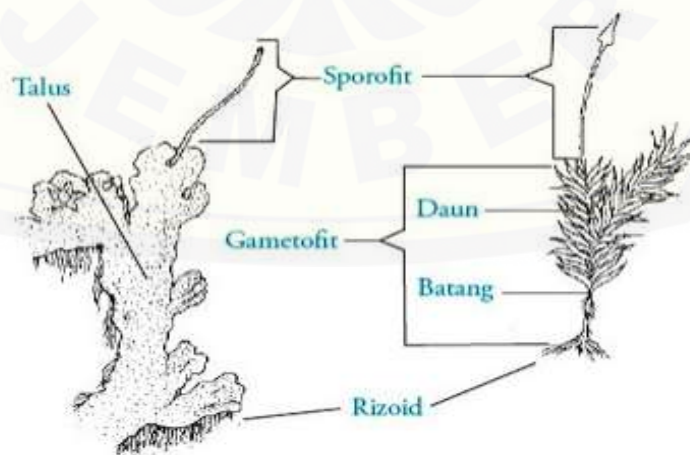
Tingkat Pengotoran	ESDD (mg/cm ²)
Sangat Ringan	0 – 0,03
Ringan	0,03 – 0,06
Sedang	0,06 – 0,1
Berat	> 0,1

2.7 Lumut

Tumbuhan Lumut (*Bryophyta*) : Ciri-ciri, klasifikasi, siklus hidup, reproduksi, struktur tumbuhan lumut adalah tumbuhan pertama yang beradaptasi dengan lingkungan darat, menyesuaikan diri dengan lingkungan darat yang lembab dan basah. Karena merupakan peralihan dari habitat air ke habitat darat, maka tumbuhan lumut disebut pula tumbuhan amfibi (*amphibious plant*). Tumbuhan ini tergolong kelompok *cryptogamae*, yaitu kelompok tumbuhan yang alat perkawinannya tersembunyi. Tingkat perkembangan lumut lebih maju dari kerabat dekatnya, yaitu alga. Hal tersebut disebabkan oleh sifat hidupnya yang sebagian besar sudah berada di darat. Selain itu, pada lumut yang berhabitus seperti tumbuhan tingkat tinggi, dalam batangnya sudah ada sekelompok sel-sel memanjang sebagai buluh pengangkut. Lumut juga sudah memiliki rizoid (struktur menyerupai akar pada tumbuhan tingkat tinggi) sebagai alat penyerap dan pelekat.

2.7.1 Ciri - ciri lumut

Lumut memiliki ciri-ciri yang membedakannya dengan tumbuhan lain. Lumut merupakan tumbuhan dengan ukuran relatif kecil, tingginya 2 sampai 50 cm. Tubuhnya tidak memiliki akar, batang, dan daun yang sebenarnya, tetapi mempunyai bagian yang menyerupai akar (rizoid), batang, dan daun. Pada beberapa jenis lumut hati atau lumut tanduk tubuhnya masih berupa talus (lembaran).



Gambar 2.3 Struktur / bagian tubuh lumut

(www.softilmu.com)

Ciri - ciri tumbuhan lumut :

- a. Habitat: di tempat lembap, di lantai dasar hutan, di pohon, tembok, sumur, dan permukaan batu bata.
- b. Merupakan peralihan antara Thallophyta dan Cormophyta.
- c. Rhizoid (akar semu), fungsinya untuk melekat pada substrat dan mengangkat air dan zat-zat hara ke seluruh bagian tubuh.
- d. Koloni lumut : seperti beledu dan lembaran.
- e. Tidak memiliki sistem pembuluh pengangkut.
- f. Reproduksi vegetatif : pembentukan gemma, penyebaran spora, dan fragmentasi.
- g. Reproduksi generatif : peleburan dua gamet.
- h. Mengalami metagenesis yaitu pergiliran keturunan antara fase vegetatif (fase sporofit) dan fase generatif (fase gametofit). Fase gametofit hidupnya lebih lama dari fase sporofit. Sporofit hidupnya menumpang pada gametofit.

2.7.2 Lumut Bryum SP.

Di dalam dunia lumut tumbuhan, lumut dikelompokkan ke dalam divisi *Bryophyta*. Kata *Bryophyta* dari bahasa Yunani, yaitu *bryon* (lumut) dan *phyton* (tumbuhan). Divisi tersebut, berdasarkan bentuk gametofit dan sporofitnya, dibagi menjadi 3 kelas, yaitu kelas *Bryophyta* atau lumut daun, kelas *Hepaticopsida* atau lumut hati, dan kelas *Anthocerosida* atau lumut tanduk.

Lumut daun (*Bryopsida*) merupakan tumbuhan lumut yang paling terkenal. Hambaran lumut daun terdiri dari satu tumbuhan lumut daun yang tumbuh dalam kelompok yang padat, sehingga satu sama lainnya bisa saling menyongkong dan menguatkan. Hambaran ini memiliki sifat seperti karet busa yang bisa menyerap dan menahan air. Contoh lumut daun adalah *Sphagnum sp.* (lumut gambut), *Bryum sp.* (hidup di tembok atau batuan yang lembab), dan *aerobrysis longissima* (hidup sebagai epifit di hutan) (Sri Widayati, Siti Nur Rochmah, Zubedi, 2009).

Lumut (*Bryophita*) adalah merupakan salah satu jenis polutan atau sebagai bahan pengotor, karena dapat menempel pada permukaan isolator, terutama pada isolator yang terpasang di daerah yang memiliki kelembaban tinggi, misalnya daerah yang dikelilingi hutan tropis. Lumut merupakan tumbuhan pelopor, yaitu tumbuhan yang dapat tumbuh disuatu tempat sebelum tumbuhan lain mampu tumbuh. Jenis-jenis lumut yang ada adalah tumbuhan lumut (*Bryophita*), lumut hati (*Hepaticiae*), lumut tanduk (*Anthocerotopsida*), alga dan lumut kerak (*Lichens*) (Managam Rajagukguk. 2011).



Gambar 2.4 Isolator berpolutan lumut

Dari statistik gangguan fungsi isolator pada saluran transmisi 150 KV PT.PLN (Persero) Sektor Kapuas Kalimantan Barat diketahui bahwa 39% gangguan fungsi isolator adalah disebabkan lumut yang menempel pada permukaan isolator tersebut (Ahmad Sayuti, Thomson Siahaan), seperti gambar dibawah ini.



Gambar 2.5 Statistik kondisi abnormal isolator

Lumut-lumut ini bersifat konduktif terutama pada keadaan cuaca lembab, berkabut atau pada saat hujan gerimis. Jika cuaca seperti ini terjadi, maka akan mengalir arus bocor dari kawat fasa ke tanah melalui lapisan lumut yang menempel di permukaan isolator dan tiang penyangga, arus bocor ini akan memicu terjadinya peluahan parsial pada permukaan isolator. Peluahan parsial ini merupakan cikal bakal dari terjadinya peristiwa kegagalan (*failure*) pada isolator.

2.8 Pembentukan Lapisan Lumut pada Permukaan Isolator

Tiupan angin merupakan sarana untuk membawa zat pengotor ke permukaan isolator porselin. Lumut tumbuh pada permukaan isolator pada mulanya dalam bentuk lapisan tipis (*biofilm*) berupa spora yang dibawa oleh angin. Persyaratan pembentukan lapisan tipis pada permukaan isolator sangat sederhana, hanya air, nutrisi dan tentunya mikroorganisme. Mikroorganisme selalu hadir di luar ruangan dan nutrisi dapat datang dari nahan itu sendiri dan dari lingkungan. Melekat pada permukaan adalah strategi mikrobiologi untuk dapat bertahan hidup di lingkungan hana rendah dan dengan demikian lapisan tipis dapat ditemukan dalam berbagai lingkungan.

Medan elektostatis sangat berpengaruh dalam partikel-partikel yang dibawa angin, terutama pada bagian-bagian isolator porselin yang mengalami tegangan yang besar, yaitu di sekitar pasak isolator porselin. Medan elektostatis akan mengkita partikel melalui proses polarisasi begitu menyentuh permukaan isolator porselin. Pengaruh pemanasan oleh arus bocor pada bagian isolator yang mengalami proses stress tegangan lebih tinggi mengalami proses pencucian oleh alam dan mempertinggi daya pengumpulan pengotor (Managam Rajagukguk, 2011).

2.9 Menghitung ESDD dan Konduktivitas

Pengukuran ini dilakukan untuk mengamati besarnya nilai ESDD, hubungannya dengan komposisi polutan yang diberikan, besarnya konduktivitas,

yang berhubungan dengan tegangan *flashover*, serta pengaruh yang berhubungan dengan ketebalan polutan. Sebelum melakukan pengukuran konduktivitas semua peralatan yang digunakan dibersihkan terlebih dahulu, agar terhindar dari polutan lain. Setelah itu dilaksanakan pekerjaannya.

Pengukuran konduktivitas air, baik yang mengandung polutan (σ_2) maupun yang tidak (σ_1), pada suhu tertentu, kemudian dihitung dalam persamaan 2.1

$$\sigma_{20} = \sigma_{\theta} [1 - 0,02277 (\theta - 20)] \dots \dots \dots (2.1)$$

dimana : σ_{20} = konduktivitas pada suhu 20⁰ C (μ S/cm)

σ_{θ} = konduktivitas pada suhu ruangan

θ = suhu ruangan

Sesudah didapat konduktivitas pada suhu 20⁰ C, selanjutnya dihitung konduktivitas garam dalam persen, menggunakan persamaan 2.2

$$D = \frac{(5,7 \times 10^{-4} \times \sigma_{20})^{1,03}}{10} \dots \dots \dots (2.2)$$

dimana : D = konsentrasi garam NaCl (%)

σ_{20} = konduktivitas garam pada suhu 20⁰ C (μ S/cm)

Setelah diperoleh konduktivitas pada suhu 20⁰ C dan konsentrasi garam, kemudian dihitung nilai ESDD nya menggunakan persamaan 2.3

$$ESDD = 10 \times V \times \frac{(D_2 - D_1)}{S} \dots \dots \dots (2.3)$$

dimana : ESDD = *Equivalent Salt Deposit Density* (mg/cm^2)

V = volume air pencuci (ml)

D₁ = eqivalen konsentrasi garam dan air sebelum ada polutan (%)

D₂ = eqivalen konsentrasi garam dan air sesudah ada polutan (%)

S = luas permukaan isolator (cm^2)

2.10 American Standard Test Method (ASTM)

Metode yang sesuai dengan standar *American Standard Test Method*, ASTM-D149. Standar pengujian ASTM-D149 terdiri dari tiga buah metode, yaitu metode *Short Time*, *Step by Step Test*, dan *Slow Rate of Rise Test* (Tobing, 2012).

Metode *Short Time Test* adalah pengujian yang paling umum digunakan untuk menguji kontrol kualitas. Sedangkan metode *Step by Step Test* dan *Slow Rate of Rise Test* biasanya akan menghasilkan pengujian yang kurang baik, namun akan memberikan hasil yang lebih baik jika menggunakan perbedaan bahan uji dan kemudian dibandingkan satu sama lain.

2.10.1 Metode *Short Time*

Profil tegangan pada pengujian waktu singkat. Pengujian diawali dengan menaikkan tegangan spesimen secara bertahap dengan laju tegangan konstan, misalnya 100 V/detik, sampai spesimen mengalami tembus listrik.

Jika tembus listrik terjadi di luar interval waktu 10 - 20 detik, terhitung sejak tegangan pengujian mulai dinaikkan, pengujian harus diulang dengan laju tegangan pengujian ditinggikan hingga tembus listrik terjadi dalam interval waktu 10 - 20 detik. Pengujian untuk menentukan laju tegangan yang cocok disebut uji preliminier (*preliminary test*). Setelah didapat laju tegangan yang cocok, laju tegangan inilah yang digunakan untuk pengujian spesimen. Pada umumnya, beberapa bahan isolasi diuji dengan laju tegangan sekitar 500 V/detik. Nilai tegangan pada saat satu spesimen mengalami tembus listrik dicatat.

Apabila pada uji preliminier tidak ditemukan laju tegangan yang menimbulkan tembus listrik dalam interval waktu 10 - 20 detik, pada laporan hasil pengujian harus dicantumkan interval waktu terjadinya tembus listrik (t_{bd}) yang diperoleh pada pengujian. Jika pengujian harus dilakukan dengan laju tegangan tertentu, sedang dengan laju tegangan ini tembus listrik terjadi di luar interval 10 - 20 detik, maka pada laporan hasil pengujian harus dicantumkan interval waktu terjadinya tembus listrik (t_{bd}).

Pengujian dilakukan terhadap lima spesimen. Tegangan tembus spesimen ini sama dengan nilai rata - rata tegangan tembus yang diperoleh dari lima spesimen yang telah diuji. Jika nilai tegangan tembus spesimen ada yang menyimpang hingga 15% daripada nilai rata - rata, pengujian harus diadakan terhadap lima spesimen lagi. Untuk kasus seperti ini hasil pengujian sama dengan nilai rata - rata tegangan

tembus yang diperoleh dari sepuluh spesimen yang telah diuji. Kekuatan dielektrik bahan isolasi yang diuji adalah nilai tegangan tembus dibagi dengan tebal spesimen.

2.10.2 Metode *Step by Step Test*

Profil tegangan pengujian dibuat. Mula - mula ditetapkan tegangan tembus spesimen menurut pengujian waktu singkat (V_{bd}) atau menurut pengalaman dalam pengujian - pengujian yang sudah pernah dilakukan. Kemudian dihitung perkiraan tegangan uji awal $V_a = 0.5 V_{bd}$. Pada perkiraan tegangan uji awal yang dipilih, ditentukan tegangan start (V_s) dan penambahan tegangan.

Jika tegangan uji awal ditetapkan menyimpang dari nilai yang dianjurkan, misalnya V_{as} , maka dipilih tegangan uji awal (V_a) yang nilainya persis di bawah V_{as} . Pertambahan tegangan dibuat sama dengan 10% daripada tegangan uji awal yang dipilih ini.

Waktu yang dibutuhkan untuk menaikkan tegangan dari suatu tingkat tegangan pengujian ke tingkat tegangan pengujian berikutnya ($t_{n+1} - t_n$) disebut waktu pengujian. Lama pengujian waktu pengujian adalah (60 ± 5) detik dan jika dibutuhkan, juga diperbolehkan 20 detik atau 300 detik.

Pengujian dimulai dengan menaikkan tegangan spesimen tanpa menimbulkan tegangan transien, mulai dari nilai nol hingga mencapai tegangan *start* (V_s). Setelah tegangan *start* berlangsung 60 detik, dan dalam interval waktu ini tidak terjadi tembus listrik pada spesimen, tegangan pengujian dinaikkan atau tegangan pengujian tingkat kedua. Setelah tegangan pengujian tingkat kedua ini berlangsung 60 detik, dan dalam interval waktu ini juga tidak terjadi tembus listrik pada spesimen, tegangan pengujian dinaikkan lagi. Demikian seterusnya, tegangan, tegangan pengujian dinaikkan bertangga hingga spesimen mengalami tembus listrik.

Misalkan tembus listrik terjadi pada saat $t = t_x$. Pada kondisi pengujian seperti ini, spesimen dinyatakan memiliki ketahanan tegangan $V_{kt} = V_n$ dan tegangan tembus $V_{bd} = V_{n+1}$. Jika tembus listrik terjadi pada saat $t = t_5$, spesimen dinyatakan memiliki $V_{kt} = V_{bd} = V_{n+1}$.

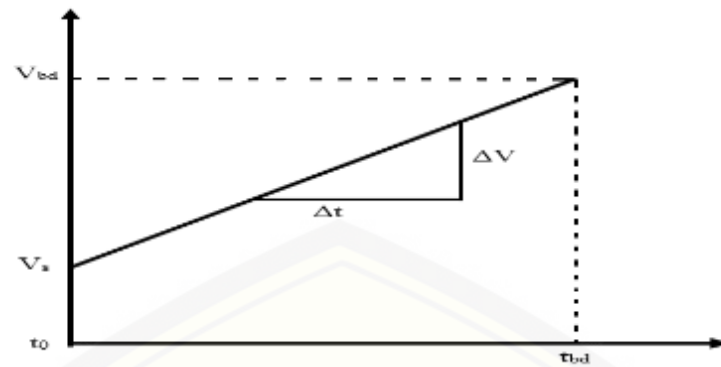
Diinginkan bahwa tembus listrik terjadi pada langkah keempat hingga langkah kesepuluh, tetapi waktu terjadinya tembus listrik ini tidak kurang dari 120

detik ($t_{bd} \geq 120$ detik). Jika ketika pengujian satu kelompok spesimen, lebih dari satu spesimen tembus listrik pada langkah ketiga atau waktu terjadinya tembus listrik kurang dari 120 detik ($t_{bd} < 120$ detik), pengujian diulang kembali dengan tegangan *start* yang lebih rendah. Sebaliknya, jika spesimen tidak tembus listrik sebelum langkah kedua belas atau $t_{bd} > 720$ detik, maka pengujian diulang dengan tegangan *start* lebih tinggi.

2.10.3 Metode *Slow Rate of Rise Test*

Profil tegangan pengujian ditunjukkan pada Gambar 2.3. Laju tegangan dipilih salah satu dari yang disarankan pada Gambar 2.3 ini. Cara menentukan tegangan *start* V_s sama seperti metode pengujian bertangga yakni dengan menetapkan tegangan tembus specimen, menurut pengujian waktu singkat (V_{bd}) atau menurut pengalaman dalam pengujian-pengujian yang sudah pernah dilakukan, kemudian dihitung perkiraan tegangan uji awal $V_s = 0,5 V_{bd}$. Pengujian dilakukan dengan menaikkan tegangan spesimen secara bertahap dengan laju tegangan konstan, mulai dari tegangan *start* V_s hingga spesimen mengalami tegangan tembus listrik. Terjadinya tembus listrik ini harus pada $t_{bd} > 120$ detik sejak tegangan pengujian dikenakan pada spesimennya.

Apabila dalam pengujian sekelompok spesimen, lebih dari satu spesimen yang mengalami tembus listrik pada waktu kurang dari 120 detik, perlu dilakukan tindakan sebagai berikut : tegangan uji *start* V_s dikurangi, atau laju tegangan ($\Delta V/\Delta t$) diturunkan, atau mengurangi tegangan *start* dan laju tegangan secara bersamaan. Jika lebih dari satu spesimen mengalami tembus listrik pada tegangan yang kurang dari $1,5V_s$ maka nilai tegangan *start* V_s dikurangi. Jika tembus listrik terjadi pada tegangan $2,5V_s$ dan waktu terjadinya tembus listrik lebih dari 120 detik, nilai V_s dinaikkan.



Gambar 2.6 Profil pengujian dengan kenaikan tegangan perlahan
Laju Tegangan $\Delta V / \Delta t$ (V/s)

1

Pembatasan

2

 $t_{bd} > 120$ detik

5

 $V_{bd} \geq 1,5 V_s$

10

12,5

20

25

50

100

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Empat metode yang digunakan dalam penelitian ini terbagi menjadi dua, yaitu:

3.1.1 Studi Literatur

Metode studi literatur ini dilakukan untuk lebih memahami permasalahan dan teori dasar mengenai terjadinya *flashover* yang terjadi pada bahan isolasi yang dipakai dalam pengujian yakni isolator polimer jenis tarik. Selain itu studi literatur ini dilakukan untuk memahami katakteristik isolator polimer jenis tarik yang terpengaruhi oleh polutan garam dan polutan lumut *bryum sp* yang terkontaminasi dari sebuah wadah air (aquarium) yang didalamnya ada batu berlumut *bryum sp* serta isolator polimer dengan air hujan untuk membuat polutan buatan mikrobiologi ini agar menyerupai kondisi lingkungan, khususnya pada daerah beriklim tropis.

3.1.2 Praktek Langsung

Praktek langsung dilakukan untuk mendapatkan data-data dari hasil uji di laboratorium tentang tegangan *flashover* isolator berbahan polimer jenis tarik dengan adanya pengaruh bahan polutan lumut *bryum sp* dan polutan garam. Terdapat beberapa hal yang harus diperhatikan sebelum melakukan pengujian di laboratorium untuk pengambilan data, diantaranya yaitu:

a. Pembuatan Polutan

Bahan Polutan yang digunakan sebagai polutan buatan yang didapatkan dengan cara melakukan pengambilan sampel lumut *bryum sp* dari batu yang berlumut *bryum sp* dan air hujan sebagai pemicu kontaminannya.

b. Pembersihan Bahan Uji

Isolator yang akan di uji harus benar-benar dalam kondisi kering dan bersih sebelum digunakan dalam proses pengujian. Isolator harus dicuci sampai bersih dan dikeringkan, agar isolator yang di uji benar-benar bebas dari kotoran atau polutan lain yang menempel.

c. Perlakuan Terhadap Isolator Polimer Jenis Tarik

Isolator diletakkan pada sebuah wadah air (aquarium) yang didalamnya ada batu berlumut *bryum sp* dan isolator polimer dengan air hujan serta dibungkus atasnya dengan plastik putih yang bertujuan agar suhu di dalam lembap agar air didalamnya terkontaminasi, air didalam wadah bisa digunakan sebagai air penyemprotan polutan lumut tersebut. Dan pada polutan garam yaitu polutan buatan yang terdiri dari air murni (aquades) dan larutan garam NaCl. Sebelum dilakukan pengujian, isolator polimer terlebih dahulu mengalami beberapa perlakuan, yaitu harus dibersihkan, kemudian isolator disemprotkan dengan polutan lumut *bryum sp* dan polutan garam dengan alat penyemprot polutan pada salah satu sisi permukaan isolatornya, dengan variasi sudut penyemprotan 30°, 60°, 90°, dan 120° serta dengan penyemprotan empat buah sudut langsung yakni 30°, 60°, 90°, dan 120°. Dapat dilihat pada gambar 3.1 untuk proses penyemprotan.

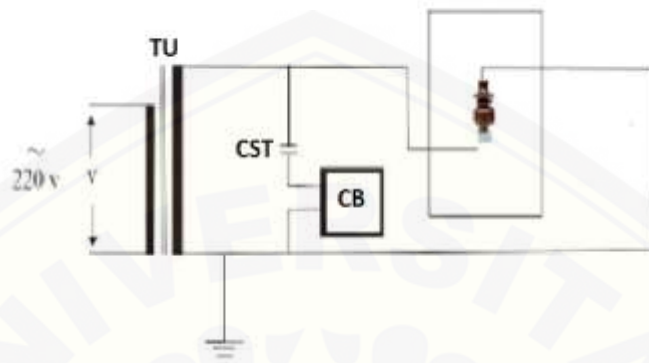


Gambar 3.1 Proses Penyemprotan Isolator Polimer Jenis Tarik

d. Pengujian Tegangan *Flashover*

Isolator berbahan polimer jenis tarik sebagai bahan pengujian yang akan di uji kekuatan dielektriknya dengan menguji tegangan *flashover* terhadap perubahan konsentrasi polutan dalam kondisi isolator kering dan basah.

Pengujian dilakukan dengan menggunakan gelombang sinus tegangan tinggi AC, hingga terjadi tegangan *flashover* pada bahan yang diuji.



Gambar 3.2 Rangkaian Pengujian Tegangan *Flashover*
(Mokhammad Irfangi, 2017)

Keterangan :

TU	= Transformator uji tegangan tinggi 220 V / 100 kV
CST	= Kapasitor
CB	= Kotak kontrol

e. Penentuan Konduktivitas dari Polutan yang Menempel pada isolator

Penentuan konduktivitas dilakukan dengan membersihkan seluruh polutan yang menempel pada isolator dan dilarutkan ke dalam air sebanyak 200 cc sehingga menjadi larutan yang homogen. Selanjutnya dimasukkan ke suatu gelas ukur yang telah tersedia di Laboratorium yang berdimensi $l = 13,3$ cm dan $d = 7,6$ cm ,kemudian dilakukan pengukuran konduktivitas dengan menggunakan alat EC (*Electrical Conductivity*) meter, dapat dilihat pada gambar 3.3 dibawah ini.



Gambar 3.3 Pengukuran Konduktivitas Menggunakan EC Meter

f. Pembangkitan tegangan Tinggi AC

Untuk membangkitkan tegangan tinggi AC, dapat digunakan transformator *step-up* dengan sisi primer 220 V dari jalan-jalan PLN dan sisi sekundernya bisa menaikkan sampai tegangan 100 kV.

3.1.3 Pengambilan Data

Untuk pengambilan data pengujian meliputi tahap-tahap sebagai berikut:

1. Untuk pengujian ketahanan isolator dengan metode *Slow Rate Of Rise Test* dilakukan dengan menaikkan tegangan spesimen secara bertahap dengan laju tegangan konstan, mulai dari tegangan *start* V_s hingga spesimen mengalami tegangan tembus listrik baik pada kondisi kering maupun kondisi basah. Hal ini dapat ditandai dengan terjadinya suara letupan dan terjadinya percikan api di permukaan isolator seiring dengan terjadinya *flashover* pada isolator. Terjadinya tembus listrik ini harus pada $t_{\text{flashover}} > 120$ detik sejak tegangan pengujian dikenakan pada spesimennya.
2. Kedua kadar polutan buatan yaitu polutan lumut *bryum sp* dan polutan garam. Pada polutan lumut *bryum sp* diasumsikan sebagai air hujan yang ada pada wadah air (aquarium) yang didalamnya ada batu berlumut *bryum sp* serta isolator polimer yang terkontaminasi, dan pada polutan garam yang diasumsikan sebagai

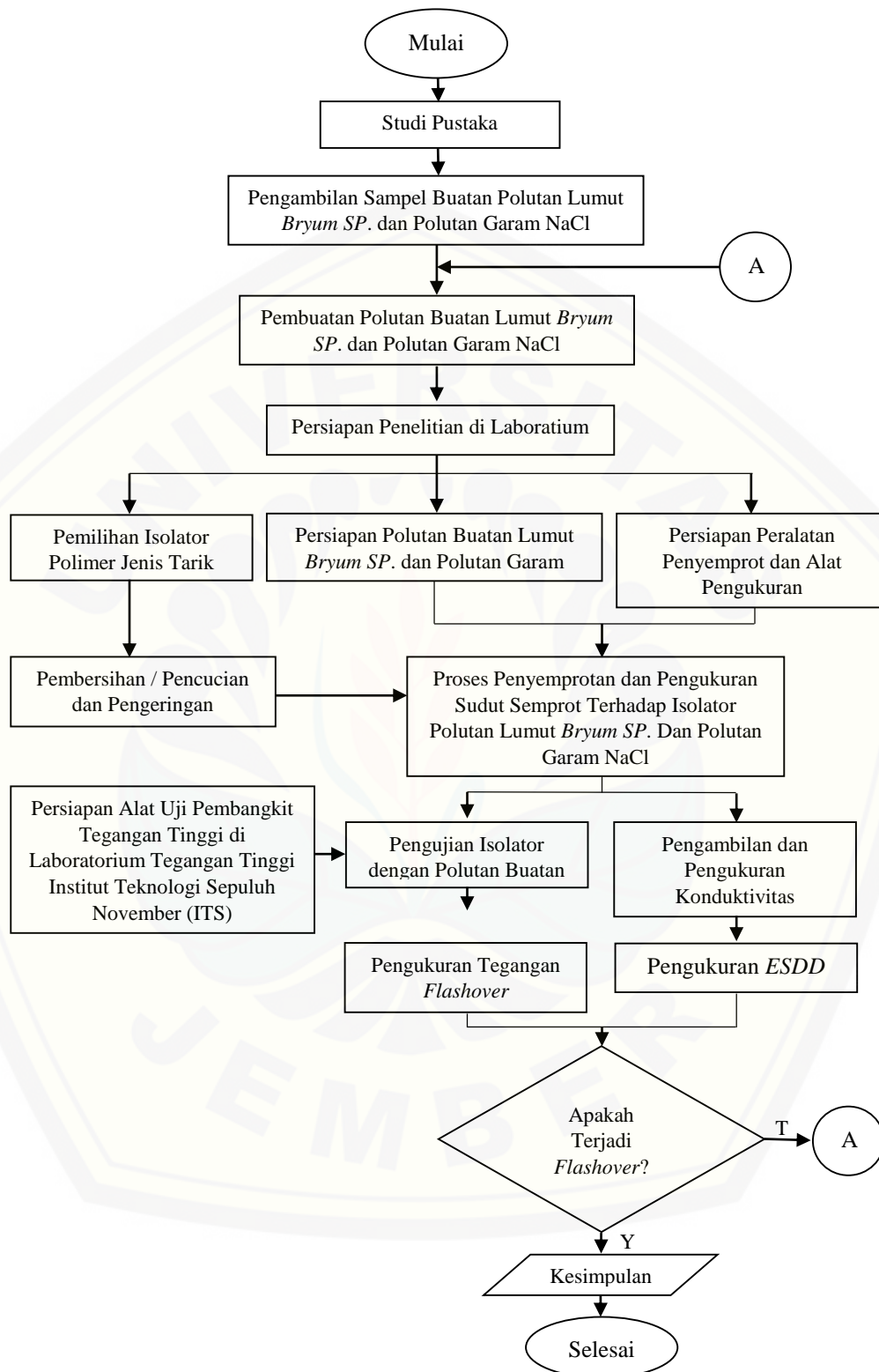
- larutan garam NaCl yang memiliki kadar 200 gram / 500 ml dalam penyemprotan saat melakukan pengujian isolator.
3. Pengambilan data diawali dengan menetapkan tegangan tembus spesimen, menurut pengujian waktu singkat ($V_{\text{flashover}}$) atau menurut pengalaman dalam pengujian-pengujian yang sudah pernah dilakukan, kemudian dihitung perkiraan tegangan uji *start* $V_s = 0,5 V_{\text{flashover}}$.
 4. Apabila dalam pengujian sekelompok spesimen, lebih dari satu spesimen yang mengalami tembus listrik pada waktu kurang dari 120 detik, perlu dilakukan tindakan sebagai berikut:
 - a. Tegangan uji *start* V_s dikurangi, atau laju tegangan ($\Delta V/\Delta t$) diturunkan, atau mengurangi tegangan *start* dan laju tegangan secara bersamaan.
 - b. Jika lebih dari satu spesimen mengalami tembus listrik pada tegangan yang kurang dari $1,5V_s$ maka nilai tegangan *start* V_s dikurangi.
 - c. Jika tembus listrik terjadi pada tegangan $2,5V_s$ dan waktu terjadinya tembus listrik lebih dari 120 detik, nilai V_s dinaikkan.
 5. Kemudian mencatat besarnya tegangan dan waktu tembus listrik yang terjadi pada saat pengujian berlangsung.
 6. Setelah di uji isolatornya, kemudian isolator di cuci menggunakan air pencuci (air aquades) sebanyak 200 ml. Untuk cara pencuciannya yaitu :
 - a. Isolator dicuci dengan menggunakan satu buah kapas. Sebelumnya terlebih dahulu air pencuci di ukur nilai konduktivitasnya.
 - b. Proses pencucian isolator dilakukan di sebuah baskom yang sudah dibersihkan dengan air aquades.
 - c. Air pencuci dipakai setengahnya untuk mencuci tahap awal dengan menggunakan kapas, dan setengahnya digunakan untuk pencucian tahap akhir.
 - d. Setelah isolator dicuci, air cucian, kapas diletakkan pada baskom, kemudian di ukur nilai konduktivitasnya.
 7. Pengambilan data dilakukan dengan melakukan pengulangan sebanyak tiga kali, kemudian diambil rata-ratanya.

3.1.4 Analisis Data

Analisis data penelitian dari pengaruh polutan lumut *bryum sp* dan polutan garam, terhadap tegangan *flashover* pada isolator polimer jenis tarik dengan menggunakan metode *Slow Rate Of Rise Test* dilakukan dengan melihat hasil data pengujian yang selanjutnya disajikan dalam bentuk tabel dan grafik. Berdasarkan analisis ini akan diperoleh kesimpulan mengenai kelayakan ketahanan isolator polimer jenis tarik dengan polutan lumut *bryum sp* dan polutan garam dalam kondisi kering dan basah.

3.2 Diagram Alir Penelitian

Untuk mengetahui tegangan *flashover* pada isolator polimer jenis tarik dengan menggunakan kedua polutan yang berbeda. Pertama yang dilakukan adalah memahami permasalahan dan teori dasar mengenai terjadinya *flashover* yang terjadi pada bahan isolasi yang akan diujikan yakni isolator polimer jenis tarik. Selain itu dilakukan untuk memahami katakteristik isolator polimer jenis tarik yang terpengaruh oleh polutan garam dan polutan lumut *bryum sp* yang terkontaminasi dari sebuah wadah air yang didalamnya ada batu berlumut *bryum sp*, isolator polimer jenis tarik dan air hujan.

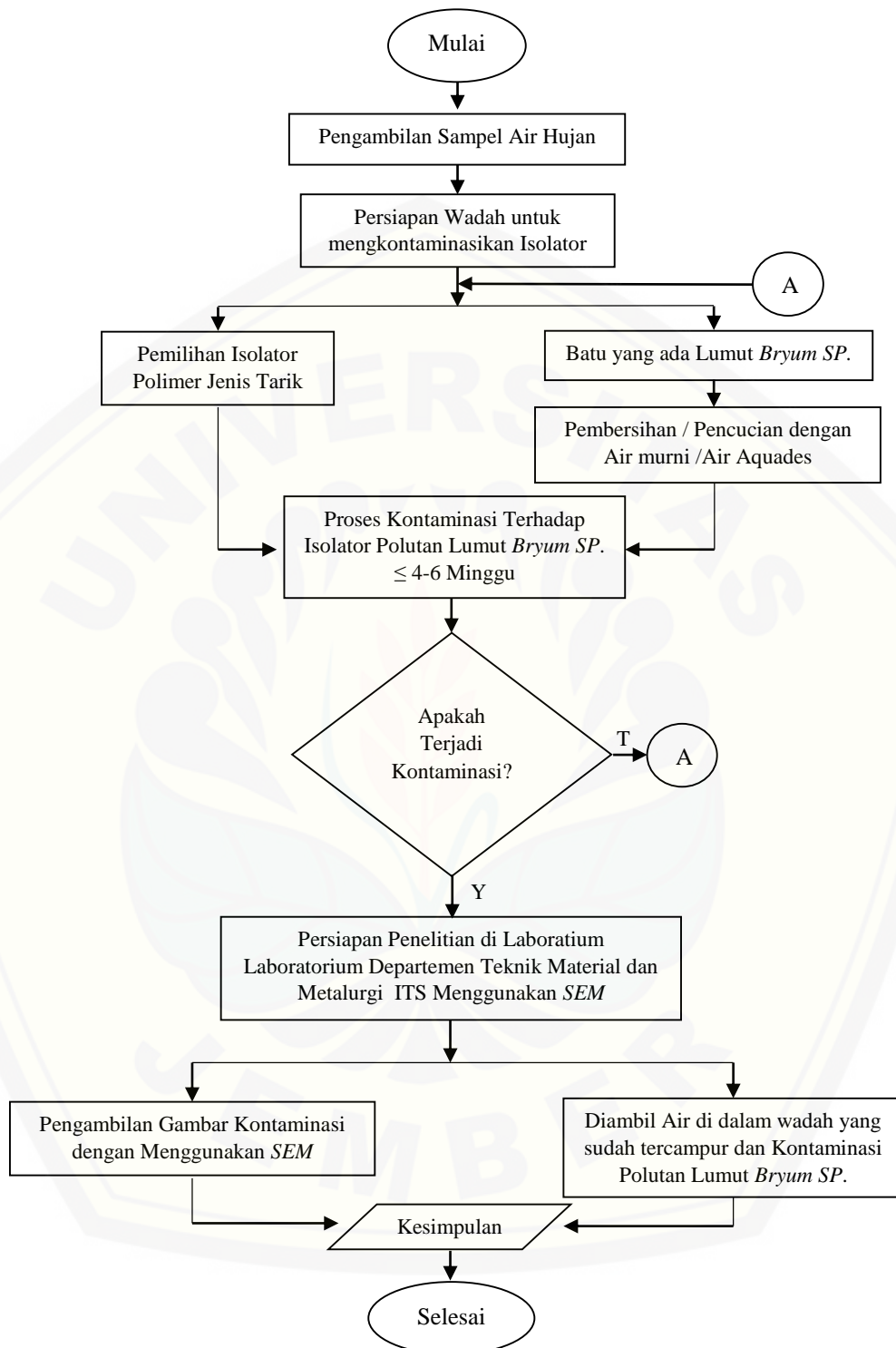


Gambar 3.4 Flowchart Pengujian Tegangan *Flashover* Laboratorium Tegangan Tinggi Institut Teknologi Sepuluh November (ITS)

Berdasarkan gambar 3.4, dapat dilihat bahwa untuk mengetahui tegangan *flashover* pada isolator polimer jenis tarik dengan menggunakan kedua polutan yang berbeda yaitu polutan lumut *bryum sp* dan polutan garam NaCl. Langkah pertama yang akan dilakukan adalah memahami permasalahan dan teori dasar mengenai terjadinya *flashover* yang terjadi pada bahan isolasi yang dipakai dalam pengujian yakni isolator polimer jenis tarik. Selain itu dilakukan untuk memahami katakteristik isolator polimer jenis tarik yang terpengaruhi oleh polutan garam dan polutan lumut yang terkontaminasi dari sebuah wadah air (aquarium) yang didalamnya ada batu berlumut *bryum sp* serta isolator polimer dengan air hujan. Selanjutnya, pengambilan sampel buatan polutan lumut *bryum sp* dan polutan garam NaCl. Kemudian polutan lumut *bryum sp* dari proses Gambar 3.3 dan polutan garam dari laurtan garam NaCl dan air murni (aquades). Selanjutnya isolator dibersihkan terlebih dahulu melalui proses pembersihan / pencucian dan pengeringan, setelah itu dilakukan penyemprotan pada isolator polimer jenis tarik dengan kedua polutan tersebut dengan sudut 30⁰, 60⁰, 90⁰ dan 120⁰. Kemudian isolator diuji dan diperoleh dari pengukuran nilai tegangan *flashover*, mengukur konduktivitas, mengukur ESDD serta apakah terjadi *flashover* atau tidak pada penelitian tersebut. Maka selanjutnya bisa mendapatkan kesimpulan yang tepat dari kedua polutan tersebut.

3.3 Proses Kontaminasi Lumut *Bryum SP* pada Isolator Polimer Jenis Tarik

Untuk proses pembuatan polutan lumut *bryum sp* yaitu dilakukan cara kontaminasi pada isolator polimer jenis tarik dengan cara merendam isolator pada sebuah wadah air (akuarium) yang telah diberi batu berlumut *bryum sp* dan air hujan, pada penelitian ini digunakan wadah air (akuarium) untuk menampung isolator, batu berlumut *bryum sp* dan air hujan untuk dilakukannya proses kontaminasi. Sebelum dimasukkan dalam wadah air tersebut wadah isolator harus dibersihkan dan steril agar tidak tercampur dengan zat yang lain.

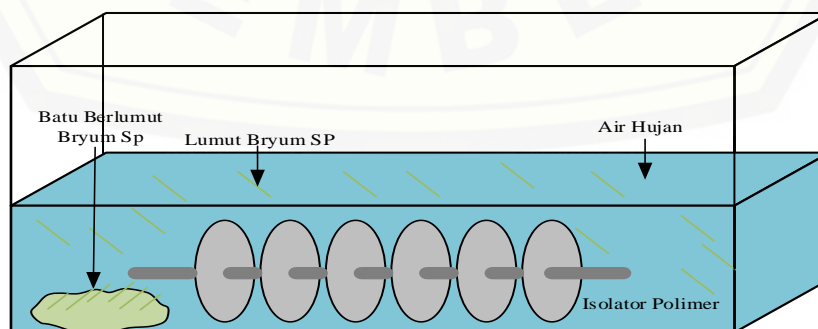


Gambar 3.5 Flowchart Proses Kontaminasi Lumut Bryum SP pada Isolator Polimer Jenis Tarik Laboratorium Departemen Teknik Material dan Metarulugi ITS

Berdasarkan gambar 3.5, dapat dilihat bahwa untuk proses kontaminasi lumut *bryum sp* pada isolator polimer jenis tarik langkah pertama yang dilakukan adalah dengan mengambil air hujan terlebih dahulu agar lebih cepat proses kontaminasinya pada isolator tersebut. Kemudian mempersiapkan wadah air (akuarium) dengan ukuran panjang sebesar 55 cm, lebar sebesar 20 cm, dan tinggi sebesar 25 cm yang sudah diukur dan sesuai dengan isolator yang akan digunakan. Setelah itu mencari batu berlumut *bryum sp* yang hidup disekitar tembok atau batuan yang lembab, karena hidupnya disekitar tembok atau batuan yang lembab, seterusnya dilakukan pembersihan dengan air murni (aquades). Selanjutnya dilakukan proses kontaminasi tersebut kurang lebih 4 – 6 minggu, proses kontaminasi dilakukan terus menerus dan dipantau setiap 1 minggu sekali untuk proses pengamatannya. Proses pengamatan dilakukan secara manual dan secara mikroskopis. Untuk pengamatan secara mikroskopis dilakukan dengan cara menggunakan SEM (Scanning Electrone Microscope). Maka selanjutnya bisa mendapatkan kesimpulan yang tepat dari hasil proses kontaminasi tersebut.

3.4 Hasil Proses Kontaminasi Lumut *Bryum SP* pada Isolator Polimer Jenis Tarik menggunakan SEM (Scanning Electrone Microscope)

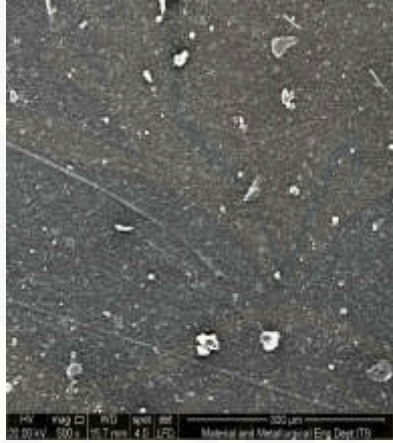
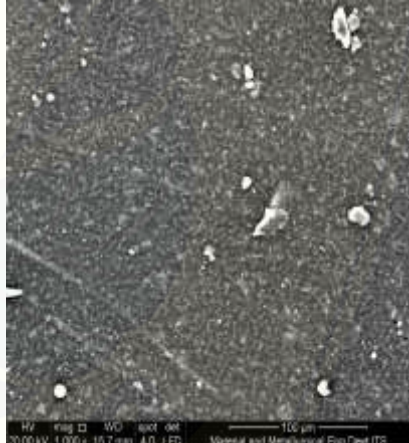
Berikut adalah hasil pengamatan dan analisa proses kontaminasi lumut *bryum sp* pada isolator jenis tarik yang dilakukan selama kurang lebih 4 – 6 minggu dan sudah melalui pengamatan mikroskopis dengan cara menggunakan SEM. Dibawah ini adalah skema proses kontaminasi lumut *bryum sp* pada isolator polimer jenis tarik :

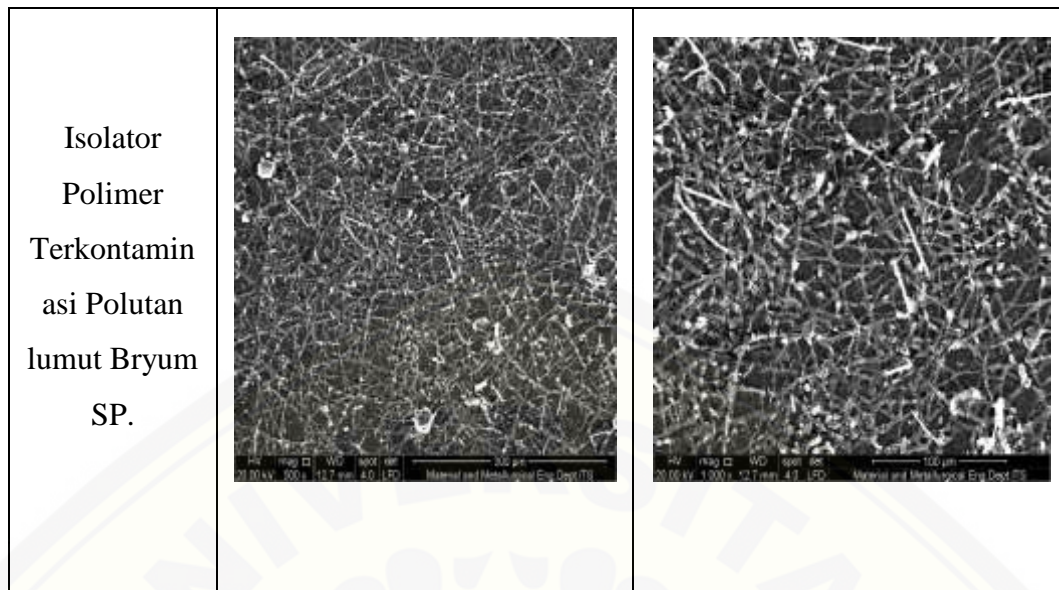


Gambar 3.6 Proses Kontaminasi Lumut *Bryum SP* pada Isolator Polimer Jenis Tarik

Gambar 3.6 adalah skema proses kontaminasi pada isolator polimer jenis tarik yang dilakukan pada penelitian ini. Proses kontaminasi dilakukan terus menerus dan dipantau setiap 1 minggu sekali untuk proses pengamatanya. Proses pengamatan dilakukan secara manual dan secara mikroskopis. Untuk pengamatan secara mikroskopis dilakukan dengan cara menggunakan SEM (Scanning Electrone Microscope). Berikut merupakan tabel hasil pengamatan secara mikroskopis dengan menggunakan SEM pada isolator polimer tersebut.

Tabel 3.1 Hasil Pengamatan Proses Kontaminasi Lumut *Bryum SP* pada Isolator Polimer Jenis Tarik Menggunakan SEM

Isolator	SEM	
	500x	1000x
Isolator Polimer baru		



Dari Tabel 3.1 dapat diketahui bahwa hasil pengamatan dengan menggunakan SEM. Pada gambar isolator polimer baru terlihat masih kondisi bersih, dan pada gambar isolator polimer terkontaminasi polutan lumut *bryum sp* terlihat jelas bahwa terdapat banyak garis – garis dan sangat berbeda pada isolator kondisi baru yang masih bersih.

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan dapat diperoleh beberapa kesimpulan diantaranya :

1. Penggunaan metode *slow rate of rise test* untuk pengujian tegangan *flashover* pada isolator polimer jenis tarik dengan adanya pengaruh polutan lumut *bryum sp* telah memberikan hasil bahwa nilai tegangan *flashover* akan turun seiring dengan bertambahnya besar nilai ESDD. Pada kondisi basah saat ESDD sebesar 0,082 mg /cm², dengan tegangan *flashover* sebesar 43,667 kV, dan pada kondisi kering saat ESDD sebesar 0,065 mg /cm², dengan tegangan *flashover* sebesar 53,333 kV.
2. Hasil perbandingan pada kedua polutan yang berbeda tersebut yang sangat mempengaruhi besar nilai tegangan *flashover* pada isolator polimer jenis tarik yaitu polutan garam. Karena pada polutan lumut *bryum sp* tingkat penurunan tegangan setiap penyemprotan dan perulangan sebanyak tiga kali tersebut masih lebih kecil dibandingkan pada polutan garam yang memiliki penurunan tegangan yang lebih besar, terbukti pada penyemprotan dengan semua sudut (30°, 60°, 90° dan 120°) pada penyemprotan ketiga dengan polutan lumut *bryum sp* diperoleh nilai tegangan *flashover* sebesar 43,667 kV sedangkan pada polutan garam nilai tegangan *flashover* sebesar 38,333 kV

5.2 Saran

Berikut adalah merupakan saran – saran yang dapat penulis berikan berkaitan dengan penelitian yang telah dilakukan dan untuk penelitian lebih lanjut.

1. Untuk penelitian selanjutnya disarankan untuk memakai metode pengujian tiga sekaligus, yakni metode *Short Time Test*, *Step by Tep Test*, dan *Slow rate of Rise Test*, sehingga diperoleh hasil analisis yang lebih baik, dan dapat diperoleh hasil perbandingan dari ketiga metode tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Amali, Lanto, M. L. 2012. *Analisis Pengujian Arus Bocor Line Post Insulator 70 kV yang Terkontaminasi Polutan Industri*. Gorontalo: Teknik Elektro Fak. Teknik Universitas Negeri Gorontalo.
- Anonim. 2009. *Standard Test Method for Dielectric Breakdown Voltage and Dielectric Strength of Solid Electrical Insulating Materials at Commercial Power Frequencies*. USA: ASTM International.
- Arif Jaya^{1,4}, Hamzah Berahim², Tumiran², Rochmadi³. 2012. *The Performace of High Voltage Insulator Based on Epoxy-Polysiloxane and Rice husk Ash Compound in Tropical Climate Area*. Yogyakarta : ¹Postgraduate Studenta in Department of Electrical Engineering and Information Technology, ²Department of Electrical Engineering and Information Technology Gadjah Mada University, ³Departmentof Chemical Engineering Gadjah Mada University. Makasar : ⁴Department of Electrical Engineering Moslem University of Indonesia.
- Giriantari, I.A.D. 2007. *The Potential of Using Partial Discharge Analysis for Condition Monitoring of Polymer Insulator*. Kendari: Department of Electric Tecnique Faculty Univercity of Haluoleo.
- Irfangi, Mokhamad. 2017. *Pengaruh Polutan Garam terhadap tegangan Flahsover pada Isolator Berbahan Keramik dan Polimer Menggunakan Metode Slow Rate of Rest Test*. Jember: Teknik Elektro Fak. Teknik Universtitas Jember.
- Managam Rajagukguk. 2011. *Analisis Karakteristik Flashover Dan Arus Bocor Pada isolator porselin Yang dipengaruhi Polutan Lumut Bryum SP*. Pontianak Kalimantan Barat: Teknik Elektro Fak. Teknik Universitas Tanjungpura.
- Rahman, Hafidz., Syakur, Abdul., Yuningtyastuti. 2012. *Pengaruh Equivalent Salt Deposit Density (ESDD) Terhadap Tegangan Flashover dan Arus Bocor pada Isolator Berbahan Resin Epoksi Silane dengan Pengisi Bahan Pasir Silika*. Semarang: Teknik Elektro Fak. Teknik Universitas Diponegoro.
- Setiaji, Muhammad, E. D., Yuningtyastuti., Syakur, Abdul. 2012. *Pengujian Tegangan Flashover dan Arus Bocor pada Isolator 20 kV Berbahan Resin Epoksi Silane Silika Kondisi Basah dan Kering*. Semarang: Teknik Elektro Fak. Teknik Universitas Diponegoro.
- SM. Gubanski, A.Dernfalk, S,Wallstrom, S. Karlsson. 2006. *Performance and Diagnostic of biologucally Contaminated Insulator*. Gothenburg, Sweden:

Department of Materials and Manufacturing Technology, Chalmers University of Technology.

Sri Widayati, Siti Nur Rochmah, Zubedi. 2009. *BSE Biologi SMA/MA kelas X*. Jakarta: Pusat Perbukuan Departemen Pendidikan Nasional.

Steven, Rudy, Simon. 2008. *Pengaruh Polutan Terhadap Tahanan Permukaan Isolator Epoxy Resin*. Depok: Fakultas Teknik Departemen Teknik Universitas Indonesia.

Suyanto, Muhammad. 2010. *Pengujian Isolator Pin-Post 20 kV Terkontaminasi Garam Mengakibatkan Arus Bocor Flashover pada Permukaan*. Jogjakarta: Jurusan Teknik Elektro IST AKPRIND Jogjakarta.

Teguh Aryo Nugroho, I Made Yulistya Negara, Dimas Anton Asfani. 2015. *Evaluasi Dampak Alga Pada Isolator Polimer*. Surabaya: Teknik Elektro Fak. Teknologi Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh November (ITS).

Tobing, Bongas, L. 2012. *Dasar-dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi*. Jakarta: PT. Gelora Aksara Pratama.

Tobing, Bongas, L. dan Lubis, Mustafriend. 2007. *Hubungan Intensitas Polusi Isolator Jaringan Distribusi di Sumatra Utara dengan Jarak Lokasi Isolator di Pantai*. Medan: Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik USU.

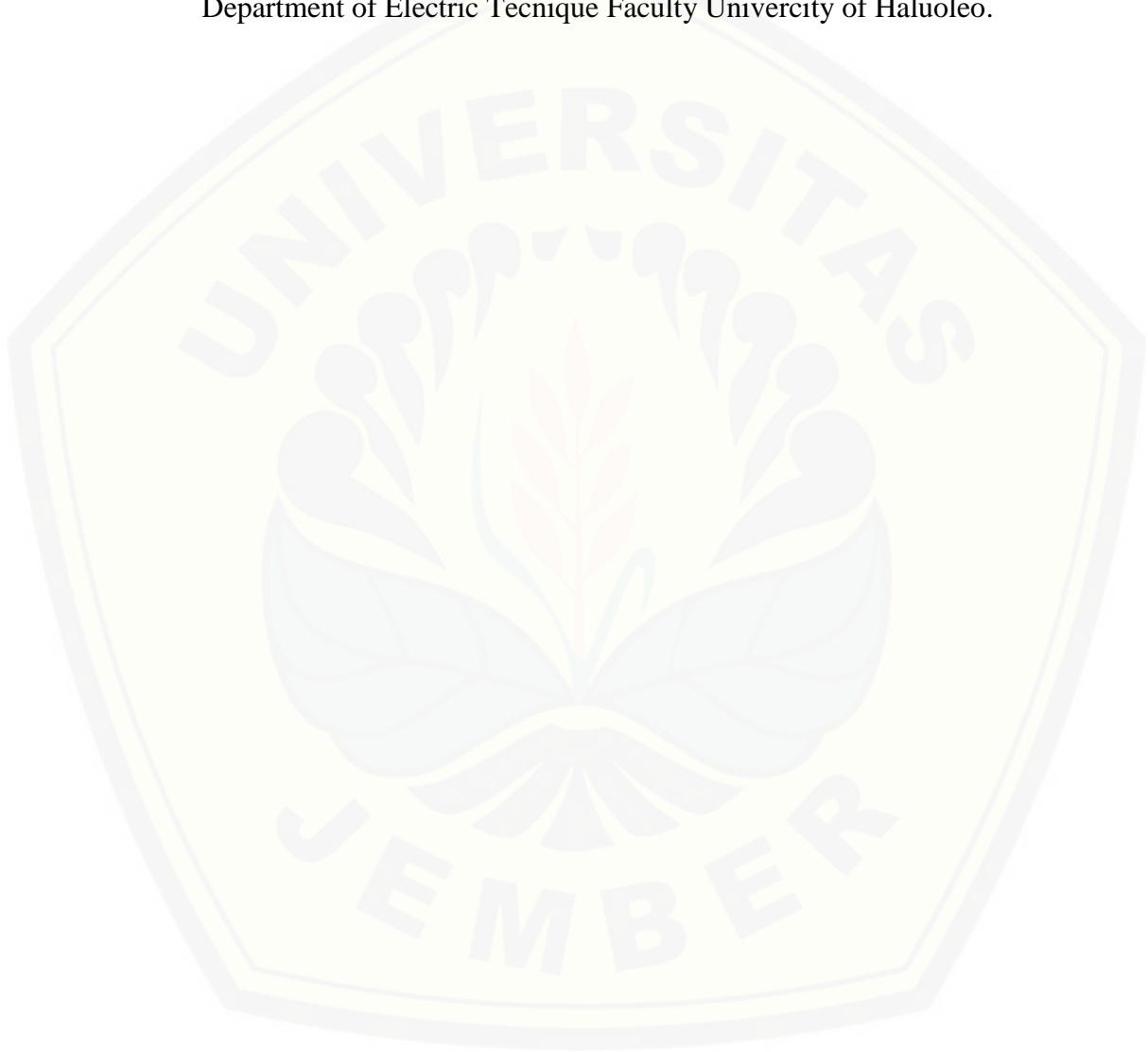
Tumiran¹, Arif Jaya², Hamzah Berahim³, Rochmadi⁴. 2012. *Accelerate Agng Effect on Epoxy-polysiloxane-Rice Husk Ash Polymeric Insulator Material*. Yogyakarta : ^{1,2,3}Department of Electrical Engineering and Information Technology Faculty of Engineering Gadjah Mada University, ⁴Department of Chemical Engineering Faculty of Engineering Gadjah Mada University. Makasar : ²Department of Electrical Engineering Faculty of Engineering Moslem University of Indonesia

Wardhani, Arfianti Kusuma. 2011. *Analisis Perbandingan Pengaruh Debu Semen Antara Isolator Pos Pin dan Isolator Gantung Terhadap Flashover Menggunakan Metode Short Time Test*. Jember: Teknik Elektro Fak. Teknik Universitas Jember.

Wasiluddin, Muhammad. 2010. *Analisa Pengaruh Polutan Garam Terhadap Arus Bocor pada Isolator Gantung*. Jember: Teknik Elektro Fak. Teknik Universitas Jember.

Yosafat, Fery Indra. 2014. *Penggunaan Metode Step By Step Test Untuk Membandingkan Flashover Pada Isolator Berbahan Keramik dan Polimer Terhadap Polutan Abu Terbang*. Jember: Teknik Elektro Fak. Teknik Universitas Jember.

Zulkaida, Wa Ode. dan Tambi. 2007. *Flashover Voltage, Leak Current and ESDD Performance Test On Epocsi Resin Polymer Which To Experience Different Filler Treatment For High Voltage Isolator In Tropic Region*. Kendari: Department of Electric Tecnique Faculty Univercity of Haluoleo.



LAMPIRAN**LAMPIRAN 1. PERHITUNGAN**

Diketahui :

$$d = 7,6 \text{ cm}$$

$$v = 200 \text{ cc}$$

$$l = 13,3 \text{ cm}$$

$$\theta = 27^\circ \text{ C}$$

$$S_{\text{polimer}} = 560,774 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{\text{air tanpa polutan polimer}} = 2 \mu\text{S/cm}$$

1. Perhitungan pada isolator berbahan polimer

Menghitung konduktivitas pada keadaan standar yakni pada suhu 20°

$$\sigma_{20} = \sigma_{\theta} [1 - 0,02277 (\theta - 20)]$$

$$\begin{aligned} \sigma_{20 \text{ air tanpa polutan}} &= 2 [1 - 0,02277 (27 - 20)] \\ &= 1,681 \mu\text{S/cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{20 \text{ air berpolutan}} &= 318,333 [1 - 0,02277 (27 - 20)] \\ &= 267,594 \mu\text{S/cm} \end{aligned}$$

Setelah itu menghitung konsentrasi garam dalam persen

$$D = \frac{(5,7 \times 10^{-4} \times \sigma_{20})^{1,03}}{10}$$

$$\begin{aligned} D_1 (\text{air tanpa polutan}) &= \frac{(5,7 \times 10^{-4} \times 1,681)^{1,03}}{10} \\ &= 0,0000779 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D_2 (\text{air berpolutan}) &= \frac{(5,7 \times 10^{-4} \times 260,028)^{1,03}}{10} \\ &= 0,0144 \% \end{aligned}$$

Setelah itu menghitung nilai ESDD

$$ESDD = 10 \times V \times \frac{(D_2 - D_1)}{S}$$

$$\begin{aligned} ESDD &= 10 \times 200 \times \frac{(0,0144 - 0,0000779)}{560,774} \\ &= 0,051 \text{ mg/cm}^2 \end{aligned}$$

Dari hasil nilai ESDD yang diperoleh yakni sebesar $0,051 \text{ mg/cm}^2$ maka ESDD tersebut masuk dalam kategori pengotoran ringan.



2. Perhitungan Persentase Penurunan Kinerja Isolator

Persentase penurunan kinerja isolator polimer, saat kondisi isolator bersih tanpa polutan dan kondisi isolator terkena polutan, menggunakan rumus :

$$\text{Persentase penurunan} = \frac{T_{tp} - T_p}{T_{tp}} \times 100 \%$$

Keterangan : T_{tp} = Tegangan *flashover* tanpa polutan

T_p = Tegangan *flashover* berpolutan

2.1. Isolator Polimer menggunakan Polutan Lumut *Bryum SP*

1. Isolator polimer kering berpolutan dengan ESDD = 0,051 mg/cm² dengan sudut penyemprotan 30° = $\frac{62,667 - 61,667}{62,667} \times 100 \%$ = 1,596 %
2. Isolator polimer kering berpolutan dengan ESDD = 0,052 mg/cm² dengan sudut penyemprotan 30° = $\frac{62,667 - 60,333}{62,667} \times 100 \%$ = 3,724 %
3. Isolator polimer kering berpolutan dengan ESDD = 0,053 mg/cm² dengan sudut penyemprotan 30° = $\frac{62,667 - 59,333}{62,667} \times 100 \%$ = 5,320 %
4. Isolator polimer kering berpolutan dengan ESDD = 0,052 mg/cm² dengan sudut penyemprotan 60° = $\frac{62,667 - 60}{62,667} \times 100 \%$ = 4,256 %
5. Isolator polimer kering berpolutan dengan ESDD = 0,053 mg/cm² dengan sudut penyemprotan 60° = $\frac{62,667 - 59,333}{62,667} \times 100 \%$ = 5,320 %
6. Isolator polimer kering berpolutan dengan ESDD = 0,055 mg/cm² dengan sudut penyemprotan 60° = $\frac{62,667 - 57,667}{62,667} \times 100 \%$ = 7,979 %
7. Isolator polimer kering berpolutan dengan ESDD = 0,054 mg/cm² dengan sudut penyemprotan 90° = $\frac{62,667 - 58,667}{62,667} \times 100 \%$ = 6,383 %
8. Isolator polimer kering berpolutan dengan ESDD = 0,057 mg/cm² dengan sudut penyemprotan 90° = $\frac{62,667 - 56,333}{62,667} \times 100 \%$ = 10,107 %
9. Isolator polimer kering berpolutan dengan ESDD = 0,059 mg/cm² dengan sudut penyemprotan 90° = $\frac{62,667 - 55}{62,667} \times 100 \%$ = 12,234 %

10. Isolator polimer kering berpolutan dengan ESDD = 0,054 mg/cm² dengan sudut penyemprotan 120° = $\frac{62,667-59}{62,667} \times 100 \% = 5,851 \%$
11. Isolator polimer kering berpolutan dengan ESDD = 0,055 mg/cm² dengan sudut penyemprotan 120° = $\frac{62,667-57,667}{62,667} \times 100 \% = 7,978 \%$
12. Isolator polimer kering berpolutan dengan ESDD = 0,056 mg/cm² dengan sudut penyemprotan 120° = $\frac{62,667-56,667}{62,667} \times 100 \% = 9,574 \%$
13. Isolator polimer kering berpolutan dengan ESDD = 0,056 mg/cm² dengan sudut penyemprotan 30°, 60°, 90°, dan 120° = $\frac{62,667-57}{62,667} \times 100 \% = 9,043 \%$
14. Isolator polimer kering berpolutan dengan ESDD = 0,058 mg/cm² dengan sudut penyemprotan 30°, 60°, 90°, dan 120° = $\frac{62,667-55,667}{62,667} \times 100 \% = 11,170 \%$
15. Isolator polimer kering berpolutan dengan ESDD = 0,065 mg/cm² dengan sudut penyemprotan 30°, 60°, 90°, dan 120° = $\frac{62,667-53,333}{62,667} \times 100 \% = 14,895 \%$
16. Isolator polimer basah berpolutan dengan ESDD = 0,066 mg/cm² dengan sudut penyemprotan 30° = $\frac{53-51,667}{53} \times 100 \% = 2,515 \%$
17. Isolator polimer basah berpolutan dengan ESDD = 0,068 mg/cm² dengan sudut penyemprotan 30° = $\frac{53-50,333}{53} \times 100 \% = 5,032 \%$
18. Isolator polimer basah berpolutan dengan ESDD = 0,069 mg/cm² dengan sudut penyemprotan 30° = $\frac{53-49,333}{53} \times 100 \% = 6,919 \%$
19. Isolator polimer basah berpolutan dengan ESDD = 0,066 mg/cm² dengan sudut penyemprotan 60° = $\frac{53-51,333}{53} \times 100 \% = 3,145 \%$
20. Isolator polimer basah berpolutan dengan ESDD = 0,069 mg/cm² dengan sudut penyemprotan 60° = $\frac{53-49,333}{53} \times 100 \% = 6,919 \%$
21. Isolator polimer basah berpolutan dengan ESDD = 0,067 mg/cm² dengan sudut penyemprotan 60° = $\frac{53-50}{53} \times 100 \% = 5,660 \%$

22. Isolator polimer basah berpolutan dengan ESDD = 0,071 mg/cm² dengan sudut penyemprotan 90° = $\frac{53-48}{53} \times 100 \% = 9,434 \%$
23. Isolator polimer basah berpolutan dengan ESDD = 0,069 mg/cm² dengan sudut penyemprotan 90° = $\frac{53-48,667}{53} \times 100 \% = 8,175 \%$
24. Isolator polimer basah berpolutan dengan ESDD = 0,074 mg/cm² dengan sudut penyemprotan 90° = $\frac{53-46,333}{53} \times 100 \% = 12,579 \%$
25. Isolator polimer basah berpolutan dengan ESDD = 0,066 mg/cm² dengan sudut penyemprotan 120° = $\frac{53-51,667}{53} \times 100 \% = 2,515 \%$
26. Isolator polimer basah berpolutan dengan ESDD = 0,067 mg/cm² dengan sudut penyemprotan 120° = $\frac{53-50}{53} \times 100 \% = 5,660 \%$
27. Isolator polimer basah berpolutan dengan ESDD = 0,068 mg/cm² dengan sudut penyemprotan 120° = $\frac{53-49,333}{53} \times 100 \% = 6,919 \%$
28. Isolator polimer basah berpolutan dengan ESDD = 0,073 mg/cm² dengan sudut penyemprotan 30°, 60°, 90°, dan 120° = $\frac{53-46,667}{53} \times 100 \% = 11,949 \%$
29. Isolator polimer basah berpolutan dengan ESDD = 0,075 mg/cm² dengan sudut penyemprotan 30°, 60°, 90°, dan 120° = $\frac{53-45,667}{53} \times 100 \% = 13,836 \%$
30. Isolator polimer basah berpolutan dengan ESDD = 0,082 mg/cm² dengan sudut penyemprotan 30°, 60°, 90°, dan 120° = $\frac{53-43,667}{53} \times 100 \% = 17,609 \%$

2.2. Isolator Polimer menggunakan Polutan Garam

1. Isolator polimer kering berpolutan dengan ESDD = 0,049 mg/cm² dengan sudut penyemprotan 30° = $\frac{63-60}{63} \times 100 \% = 4,762 \%$
2. Isolator polimer kering berpolutan dengan ESDD = 0,055 mg/cm² dengan sudut penyemprotan 30° = $\frac{63-57,333}{63} \times 100 \% = 8,995 \%$

3. Isolator polimer kering berpolutan dengan ESDD = 0,063 mg/cm² dengan sudut penyemprotan 30° = $\frac{63-53,333}{63} \times 100 \% = 15,344 \%$
4. Isolator polimer kering berpolutan dengan ESDD = 0,054 mg/cm² dengan sudut penyemprotan 60° = $\frac{63-58}{63} \times 100 \% = 7,936 \%$
5. Isolator polimer kering berpolutan dengan ESDD = 0,060 mg/cm² dengan sudut penyemprotan 60° = $\frac{63-55}{63} \times 100 \% = 12,698 \%$
6. Isolator polimer kering berpolutan dengan ESDD = 0,066 mg/cm² dengan sudut penyemprotan 60° = $\frac{63-51,333}{63} \times 100 \% = 18,519 \%$
7. Isolator polimer kering berpolutan dengan ESDD = 0,056 mg/cm² dengan sudut penyemprotan 90° = $\frac{63-56,667}{63} \times 100 \% = 10,052 \%$
8. Isolator polimer kering berpolutan dengan ESDD = 0,061 mg/cm² dengan sudut penyemprotan 90° = $\frac{63-54}{63} \times 100 \% = 14,286 \%$
9. Isolator polimer kering berpolutan dengan ESDD = 0,067 mg/cm² dengan sudut penyemprotan 90° = $\frac{63-50,667}{63} \times 100 \% = 19,576 \%$
10. Isolator polimer kering berpolutan dengan ESDD = 0,053 mg/cm² dengan sudut penyemprotan 120° = $\frac{63-58,333}{63} \times 100 \% = 7,408 \%$
11. Isolator polimer kering berpolutan dengan ESDD = 0,059 mg/cm² dengan sudut penyemprotan 120° = $\frac{63-55,333}{63} \times 100 \% = 12,169 \%$
12. Isolator polimer kering berpolutan dengan ESDD = 0,065 mg/cm² dengan sudut penyemprotan 120° = $\frac{63-51,667}{63} \times 100 \% = 17,988 \%$
13. Isolator polimer kering berpolutan dengan ESDD = 0,057 mg/cm² dengan sudut penyemprotan 30°, 60°, 90°, dan 120° = $\frac{63-56,333}{63} \times 100 \% = 10,582 \%$
14. Isolator polimer kering berpolutan dengan ESDD = 0,063 mg/cm² dengan sudut penyemprotan 30°, 60°, 90°, dan 120° = $\frac{63-53}{63} \times 100 \% = 15,873 \%$

15. Isolator polimer kering berpolutan dengan ESDD = 0,069 mg/cm² dengan sudut penyemprotan 30°, 60°, 90°, dan 120° = $\frac{63-49,333}{63} \times 100 \% = 21,694 \%$
16. Isolator polimer basah berpolutan dengan ESDD = 0,056 mg/cm² dengan sudut penyemprotan 30° = $\frac{53-51}{53} \times 100 \% = 3,774 \%$
17. Isolator polimer basah berpolutan dengan ESDD = 0,063 mg/cm² dengan sudut penyemprotan 30° = $\frac{53-48,667}{53} \times 100 \% = 8,175 \%$
18. Isolator polimer basah berpolutan dengan ESDD = 0,071 mg/cm² dengan sudut penyemprotan 30° = $\frac{53-46,333}{53} \times 100 \% = 12,579 \%$
19. Isolator polimer basah berpolutan dengan ESDD = 0,060 mg/cm² dengan sudut penyemprotan 60° = $\frac{53-49,667}{53} \times 100 \% = 6,289 \%$
20. Isolator polimer basah berpolutan dengan ESDD = 0,069 mg/cm² dengan sudut penyemprotan 60° = $\frac{53-47}{53} \times 100 \% = 11,321 \%$
21. Isolator polimer basah berpolutan dengan ESDD = 0,074 mg/cm² dengan sudut penyemprotan 60° = $\frac{53-45,667}{53} \times 100 \% = 13,836 \%$
22. Isolator polimer basah berpolutan dengan ESDD = 0,068 mg/cm² dengan sudut penyemprotan 90° = $\frac{53-47,333}{53} \times 100 \% = 10,692 \%$
23. Isolator polimer basah berpolutan dengan ESDD = 0,075 mg/cm² dengan sudut penyemprotan 90° = $\frac{53-45,333}{53} \times 100 \% = 14,466 \%$
24. Isolator polimer basah berpolutan dengan ESDD = 0,081 mg/cm² dengan sudut penyemprotan 90° = $\frac{53-43,667}{53} \times 100 \% = 17,609 \%$
25. Isolator polimer basah berpolutan dengan ESDD = 0,057 mg/cm² dengan sudut penyemprotan 120° = $\frac{53-50,667}{53} \times 100 \% = 4,402 \%$
26. Isolator polimer basah berpolutan dengan ESDD = 0,061 mg/cm² dengan sudut penyemprotan 120° = $\frac{53-49,333}{53} \times 100 \% = 6,919 \%$
27. Isolator polimer basah berpolutan dengan ESDD = 0,069 mg/cm² dengan sudut penyemprotan 120° = $\frac{53-47}{53} \times 100 \% = 11,321 \%$

28. Isolator polimer basah berpolutan dengan ESDD = 0,076 mg/cm² dengan sudut penyemprotan 30°, 60°, 90°, dan 120° = $\frac{53-45}{53} \times 100 \% = 15,094 \%$
29. Isolator polimer basah berpolutan dengan ESDD = 0,089 mg/cm² dengan sudut penyemprotan 30°, 60°, 90°, dan 120° = $\frac{53-41,667}{53} \times 100 \% = 21,383 \%$
30. Isolator polimer basah berpolutan dengan ESDD = 0,104 mg/cm² dengan sudut penyemprotan 30°, 60°, 90°, dan 120° = $\frac{53-38,333}{53} \times 100 \% = 27,673 \%$

3. Perhitungan Persamaan Grafik Menggunakan Rumus Interpolasi Kuadrat

$$y = y_1 \frac{(x - x_2)(x - x_3)}{(x_1 - x_2)(x_1 - x_3)} + y_2 \frac{(x - x_1)(x - x_3)}{(x_2 - x_1)(x_2 - x_3)} + y_3 \frac{(x - x_1)(x - x_2)}{(x_3 - x_1)(x_3 - x_2)}$$

$$P_1 = (x_1, y_1); P_2 = (x_2, y_2); P_3 = (x_3, y_3)$$

1. Perhitungan Persamaan Grafik Hubungan Antara ESDD dengan Tegangan *Flashover* pada Isolator Polimer Kondisi Kering dengan polutan lumut *Bryum SP*

$$P_1 = (0,056, 57); P_2 = (0,058, 55,667); P_3 = (0,065, 53,333)$$

$$y = 57 \frac{(x - 0,058)(x - 0,065)}{(0,056 - 0,058)(0,056 - 0,065)} + 55,667 \frac{(x - 0,056)(x - 0,065)}{(0,058 - 0,056)(0,058 - 0,065)} + 53,333 \frac{(x - 0,056)(x - 0,058)}{(0,065 - 0,056)(0,065 - 0,058)}$$

$$y = 57 \frac{(x^2 - 0,123x + 0,00377)}{(0,000018)} + 55,667 \frac{(x^2 - 0,121x + 0,00364)}{(-0,000014)} + 53,333 \frac{(x^2 - 0,114x + 0,003248)}{(0,000063)}$$

$$y = 57 (55555,556x^2 - 6833,333x + 209,444) + 55,667 (-71428x^2 + 8642,857x - 260) + 53,333 (15873,016x^2 - 1809,524x + 51,556)$$

$$y = (3166666,692x^2 - 389499,981x + 11938,308) + (-3976214,262x^2 + 481121,921x - 14473,42) + (846555,562x^2 - 96507,343x + 2749,636)$$

$$y = 37007,992x^2 - 4885,403x + 214,524$$

2. Perhitungan Persamaan Grafik Hubungan Antara ESDD dengan Tegangan *Flashover* pada Isolator Polimer Kondisi Basah dengan polutan lumut *Bryum SP*

$$P_1 = (0,073 , 46,667) ; P_2 = (0,075 , 45,667) ; P_3 = (0,082 , 43,667)$$

$$y = 46,667 \frac{(x - 0,075)(x - 0,082)}{(0,073 - 0,075)(0,073 - 0,082)} + 45,667 \frac{(x - 0,073)(x - 0,082)}{(0,075 - 0,073)(0,075 - 0,082)} + 43,667 \frac{(x - 0,073)(x - 0,075)}{(0,082 - 0,073)(0,082 - 0,075)}$$

$$y = 46,667 \frac{(x^2 - 0,157x + 0,00615)}{(0,000018)} + 45,667 \frac{(x^2 - 0,155x + 0,005986)}{(-0,000014)} + 43,667 \frac{(x^2 - 0,148x + 0,005475)}{(0,000063)}$$

$$y = 46,667 (55555,556x^2 - 8722,222x + 341,667) + 45,667 (-71428,571x^2 + 11071,428x - 427,571) + 43,667 (15873,016x^2 - 2349,206x + 86,905)$$

$$y = (2592611,132x^2 - 407039,934x + 15944,574) + (-3261928,552x^2 + 505598,902x - 19525,885) + (693126,989x^2 - 102582,778x + 3794,880)$$

$$y = 23809,569x^2 - 4023,81x + 213,569$$

3. Perhitungan Persamaan Grafik Hubungan Antara ESDD dengan Tegangan *Flashover* pada Isolator Polimer Kondisi Kering dengan polutan garam

$$P_1 = (0,057 , 56,333) ; P_2 = (0,063 , 53) ; P_3 = (0,069 , 49,333)$$

$$\begin{aligned}
 y &= 56,333 \frac{(x - 0,063)(x - 0,069)}{(0,057 - 0,063)(0,057 - 0,069)} \\
 &\quad + 53 \frac{(x - 0,057)(x - 0,069)}{(0,063 - 0,057)(0,063 - 0,069)} \\
 &\quad + 49,333 \frac{(x - 0,057)(x - 0,063)}{(0,069 - 0,057)(0,069 - 0,063)} \\
 y &= 56,333 \frac{(x^2 - 0,132x + 0,004347)}{(0,000072)} + 53 \frac{(x^2 - 0,126x + 0,003933)}{(-0,000036)} \\
 &\quad + 49,333 \frac{(x^2 - 0,12x + 0,003591)}{(0,000072)}
 \end{aligned}$$

$$y = 56,333 (13888,889x^2 - 1833,333x + 60,375) + 53 (-27777,778x^2 + 3500x - 109,25) + 49,333 (13888,889x^2 - 1666,667x + 49,875)$$

$$y = (782402,784x^2 - 103277,148x + 3401,105) + (-1472222,234x^2 + 185500x - 5790,25) + (685180,561x^2 - 82221,683x + 2460,483)$$

$$y = -4638,889x^2 + 1,169x + 71,338$$

4. Perhitungan Persamaan Grafik Hubungan Antara ESDD dengan Tegangan *Flashover* pada Isolator Polimer Kondisi Basah dengan polutan garam

$$P_1 = (0,076 , 45) ; P_2 = (0,089 , 41,667) ; P_3 = (0,104 , 38,333)$$

$$\begin{aligned}
 y &= 45 \frac{(x - 0,089)(x - 0,104)}{(0,076 - 0,089)(0,076 - 0,104)} \\
 &\quad + 41,667 \frac{(x - 0,076)(x - 0,104)}{(0,089 - 0,076)(0,089 - 0,104)} \\
 &\quad + 38,333 \frac{(x - 0,076)(x - 0,089)}{(0,104 - 0,076)(0,104 - 0,089)}
 \end{aligned}$$

$$y = 45 \frac{(x^2 - 0,193x + 0,009256)}{(0,000364)} + 41,667 \frac{(x^2 - 0,18x + 0,007904)}{(-0,000195)} \\ + 38,333 \frac{(x^2 - 0,165x + 0,006764)}{(0,00042)}$$

$$y = 45 (2747,253x^2 - 530,221x + 25,430) + 41,667 (-5128,205x^2 + 923,077x - 40,533) + 38,333 (2380,952x^2 - 392,857x + 16,105)$$

$$y = (123626,385x^2 - 23859,945x + 1144,35) + (-213676,918x^2 + 38461,850x - 1688,888) + (91269,033x^2 - 15059,387x + 617,353)$$

$$y = 1218,5x^2 - 457,482x + 72,815$$

LAMPIRAN 2. DATA HASIL PENGUJIAN

Tanggal Pengujian : 05-07 April 2017

Suhu Ruangan Laboratorium : 27° C

1. Hasil Pengujian Tegangan *Flashover* pada Isolator Berbahan Polimer Kondisi Kering dengan Polutan Lumut *Bryum SP*

No.	Kondisi	Variabel	V _s (kV)	ΔV/Δt (V/s)	t _{flashover} (s)	Pengulangan			V _{flashover} rata-rata
						V _{flashover} I (kV)	V _{flashover} II (kV)	V _{flashover} III (kV)	
1	Tanpa polutan	-	31	100	300	62	63	63	62,667
2	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 30°	I	31	100	290	61	62	62	61,667
		II	31	100	270	61	60	60	60,333
		III	31	100	260	59	60	59	59,333
3	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 60°	I	31	100	270	60	60	60	60
		II	31	100	260	60	59	59	59,333
		III	31	100	250	57	57	59	57,667
4	Berpolutan dengan	I	31	100	250	59	59	58	58,667
		II	31	100	230	57	56	56	56,333

	penyemprotan sudut 90°	III	31	100	200	55	55	55	55
5	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 120°	I	31	100	260	59	59	59	59
		II	31	100	250	58	58	57	57,667
		III	31	100	240	57	57	56	56,667
6	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 30°, 60°, 90° dan 120°	I	31	100	230	57	57	57	57
		II	31	100	210	56	55	56	55,667
		III	31	100	180	54	53	53	53,333

Tanggal Pengujian : 05-07 April 2017

Suhu Ruangan Laboratorium : 27° C

2. Hasil Pengujian Tegangan *Flashover* pada Isolator Berbahan Polimer Kondisi Basah dengan Polutan Lumut *Bryum SP*

No.	Kondisi	Variabel	V _s (kV)	ΔV/Δt (V/s)	t _{flashover} (s)	Pengulangan			V _{flashover} rata-rata
						V _{flashover} I (kV)	V _{flashover} II (kV)	V _{flashover} III (kV)	
1	Tanpa polutan	-	27	100	260	53	53	53	53
2	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 30°	I	27	100	250	52	52	51	51,667
		II	27	100	240	50	51	50	50,333
		III	27	100	230	49	49	50	49,333
3	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 60°	I	27	100	250	52	51	51	51,333
		II	27	100	230	50	49	49	49,333
		III	27	100	240	50	50	50	50
4	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 90°	I	27	100	220	48	48	48	48
		II	27	100	230	50	48	48	48,667
		III	27	100	200	47	46	46	46,333
5		I	27	100	250	52	51	52	51,667

	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 120°	II	27	100	240	50	50	50	50
		III	27	100	230	50	48	50	49,333
6	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 30°, 60°, 90° dan 120°	I	27	100	200	48	46	46	46,667
		II	27	100	190	46	46	45	45,667
		III	27	100	170	44	44	43	43,667

Tanggal Pengujian : 05-07 April 2017
 Suhu Ruangan Laboratorium : 27° C
 Luas Permukaan Isolator : 560,774 cm²
 Dimensi Gelas Ukur : Panjang = 13,3 cm Diameter = 7,6 cm
 Volume Air Pencuci : 200 cc

3. Hasil Pengukuran Konduktivitas, ESDD dan Tingkat Pengotoran pada Isolator Berbahan Polimer Jenis Tarik dengan Polutan Lumut *Bryum SP* Kondisi Kering

No.	Kondisi	Variabel	Pengulangan			$\sigma_{\text{Rata-rata}}$ ($\mu\text{S/cm}$)	ESDD (mg/cm^2)	Tingkat Pengotoran
			σ_1	σ_2	σ_3			
1	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 30°	I	316	318	321	318,333	0,051	Ringan
		II	321	331	331	327,667	0,052	Ringan
		III	328	326	338	330,667	0,053	Ringan
2	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 60°	I	338	319	328	328,333	0,052	Ringan
		II	335	331	327	331	0,053	Ringan
		III	336	339	349	341,333	0,055	Ringan

3	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 90°	I	334	339	343	338,667	0,054	Ringan
		II	352	348	362	354	0,057	Ringan
		III	370	373	377	373,333	0,059	Ringan
4	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 120°	I	331	337	345	337,667	0,054	Ringan
		II	343	339	345	342,333	0,055	Ringan
		III	346	348	354	349,333	0,056	Ringan
5	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 30°, 60°, 90°, dan 120°	I	347	348	351	348,667	0,056	Ringan
		II	360	358	363	360,333	0,058	Ringan
		III	401	405	406	404	0,065	Sedang

Tanggal Pengujian : 05-07 April 2017
 Suhu Ruangan Laboratorium : 27° C
 Luas Permukaan Isolator : 560,774 cm²
 Dimensi Gelas Ukur : Panjang = 13,3 cm Diameter = 7,6 cm
 Volume Air Pencuci : 200 cc

4. Hasil Pengukuran Konduktivitas, ESDD dan Tingkat Pengotoran pada Isolator Berbahan Polimer Jenis Tarik dengan Polutan Lumut *Bryum SP* Kondisi Basah

No.	Kondisi	Variabel	Pengulangan			$\sigma_{\text{Rata-rata}}$ ($\mu\text{S/cm}$)	ESDD (mg/cm^2)	Tingkat Pengotoran
			σ_1	σ_2	σ_3			
1	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 30°	I	414	416	411	413,667	0,066	Sedang
		II	424	421	422	421	0,068	Sedang
		III	425	426	430	427	0,069	Sedang
2	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 60°	I	417	414	410	413,667	0,066	Sedang
		II	431	425	422	426	0,069	Sedang
		III	420	417	411	416	0,067	Sedang

3	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 90°	I	438	442	434	438	0,071	Sedang
		II	435	431	429	431,667	0,069	Sedang
		III	458	459	458	458,333	0,074	Sedang
4	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 120°	I	415	413	413	413,667	0,066	Sedang
		II	417	415	416	416	0,067	Sedang
		III	426	421	420	422,333	0,068	Sedang
5	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 30°, 60°, 90°, dan 120°	I	450	450	445	448,333	0,073	Sedang
		II	464	460	461	461,667	0,075	Sedang
		III	517	514	510	513,667	0,082	Sedang

Tanggal Pengujian : 05-07 April 2017

Suhu Ruangan Laboratorium : 27° C

5. Hasil Pengujian Tegangan *Flashover* pada Isolator Berbahan Polimer Kondisi Kering dengan Polutan Garam

No.	Kondisi	Variabel	V _s (kV)	ΔV/Δt (V/s)	t _{flashover} (s)	Pengulangan			V _{flashover} rata-rata
						V _{flashover} I (kV)	V _{flashover} II (kV)	V _{flashover} III (kV)	
1	Tanpa polutan	-	31	100	310	63	63	63	63
2	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 30°	I	31	100	290	60	60	60	60
		II	31	100	260	57	58	57	57,333
		III	31	100	230	53	53	54	53,333
3	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 60°	I	31	100	270	58	58	58	58
		II	31	100	250	55	54	56	55
		III	31	100	210	51	51	52	51,333
4	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 90°	I	31	100	260	57	57	56	56,667
		II	31	100	230	54	54	54	54
		III	31	100	210	50	50	52	50,667
5	Berpolutan dengan	I	31	100	270	58	58	59	58,333
		II	31	100	240	56	55	55	55,333

	penyemprotan sudut 120°	III	31	100	210	52	51	52	51,667
6	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 30°, 60°, 90° dan 120°	I	31	100	250	56	56	57	56,333
		II	31	100	220	53	52	54	53
		III	31	100	170	49	49	50	49,333

Tanggal Pengujian : 05-07 April 2017

Suhu Ruangan Laboratorium : 27° C

6. Hasil Pengujian Tegangan *Flashover* pada Isolator Berbahan Polimer Kondisi Basah dengan Polutan Garam

No.	Kondisi	Variabel	V _s (kV)	ΔV/Δt (V/s)	t _{flashover} (s)	Pengulangan			V _{flashover} rata-rata
						V _{flashover} I (kV)	V _{flashover} II (kV)	V _{flashover} III (kV)	
1	Tanpa polutan	-	27	100	260	53	53	53	53
2	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 30°	I	27	100	240	51	52	50	51
		II	27	100	220	49	48	49	48,667
		III	27	100	200	46	46	47	46,333
3	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 60°	I	27	100	220	50	50	49	49,667
		II	27	100	200	47	47	47	47
		III	27	100	190	46	46	45	45,667
4	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 90°	I	27	100	200	47	48	47	47,333
		II	27	100	180	45	46	45	45,333
		III	27	100	170	44	44	43	43,667
5	Berpolutan dengan	I	27	100	230	51	51	50	50,667
		II	27	100	210	50	49	49	49,333

	penyemprotan sudut 120°	III	27	100	190	46	47	48	47
6	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 30°, 60°, 90° dan 120°	I	27	100	180	44	44	47	45
		II	27	100	150	41	43	41	41,667
		III	27	100	120	37	37	38	38,333

Tanggal Pengujian : 05-07 April 2017
 Suhu Ruangan Laboratorium : 27° C
 Luas Permukaan Isolator : 560,774 cm²
 Dimensi Gelas Ukur : Panjang = 13,3 cm Diameter = 7,6 cm
 Volume Air Pencuci : 200 cc

7. Hasil Pengukuran Konduktivitas, ESDD dan Tingkat Pengotoran pada Isolator Berbahan Polimer Jenis Tarik dengan Polutan Garam Kondisi Kering

No.	Kondisi	Variabel	Pengulangan			$\sigma_{\text{Rata-rata}}$ ($\mu\text{S/cm}$)	ESDD (mg/cm^2)	Tingkat Pengotoran
			σ_1	σ_2	σ_3			
1	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 30°	I	308	307	307	307,333	0,049	Ringan
		II	342	343	343	342,667	0,055	Ringan
		III	391	390	393	391,333	0,063	Sedang
2	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 60°	I	339	339	338	338,667	0,054	Ringan
		II	373	372	374	373	0,060	Ringan
		III	407	408	412	409	0,066	Sedang

3	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 90°	I	354	351	351	352	0,056	Ringan
		II	380	379	380	379,667	0,061	Sedang
		III	423	424	426	424,333	0,067	Sedang
4	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 120°	I	331	332	332	331,667	0,053	Ringan
		II	367	365	364	365,333	0,059	Ringan
		III	403	401	404	402,667	0,065	Sedang
5	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 30°, 60°, 90°, dan 120°	I	351	354	356	353,667	0,057	Ringan
		II	390	388	392	390	0,063	Sedang
		III	424	427	428	426,333	0,069	Sedang

Tanggal Pengujian : 05-07 April 2017
 Suhu Ruangan Laboratorium : 27° C
 Luas Permukaan Isolator : 560,774 cm²
 Dimensi Gelas Ukur : Panjang = 13,3 cm Diameter = 7,6 cm
 Volume Air Pencuci : 200 cc

8. Hasil Pengukuran Konduktivitas, ESDD dan Tingkat Pengotoran pada Isolator Berbahan Polimer Jenis Tarik dengan Polutan Garam Kondisi Basah

No.	Kondisi	Variabel	Pengulangan			$\sigma_{\text{Rata-rata}}$ ($\mu\text{S/cm}$)	ESDD (mg/cm^2)	Tingkat Pengotoran
			σ_1	σ_2	σ_3			
1	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 30°	I	350	351	345	348,667	0,056	Ringan
		II	391	388	389	389,333	0,063	Sedang
		III	436	439	443	439,333	0,071	Sedang
2	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 60°	I	373	377	372	374	0,060	Ringan
		II	426	427	431	428	0,069	Sedang
		III	462	458	455	458,333	0,074	Sedang

3	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 90°	I	419	423	421	421	0,068	Sedang
		II	461	464	461	462	0,075	Sedang
		III	498	498	497	497,667	0,081	Sedang
4	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 120°	I	359	357	355	357	0,057	Ringan
		II	381	379	378	379,333	0,061	Sedang
		III	428	428	429	428,333	0,069	Sedang
5	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 30°, 60°, 90°, dan 120°	I	467	469	470	468,667	0,076	Sedang
		II	544	546	545	545	0,089	Sedang
		III	633	635	636	634,667	0,104	Berat

LAMPIRAN 3. DOKUMENTASI PENELITIAN



Isolator Polimer Kondisi Baru



Isolator Polimer Kondisi Kontaminasi



Peralatan Pembangkit Tegangan Tinggi



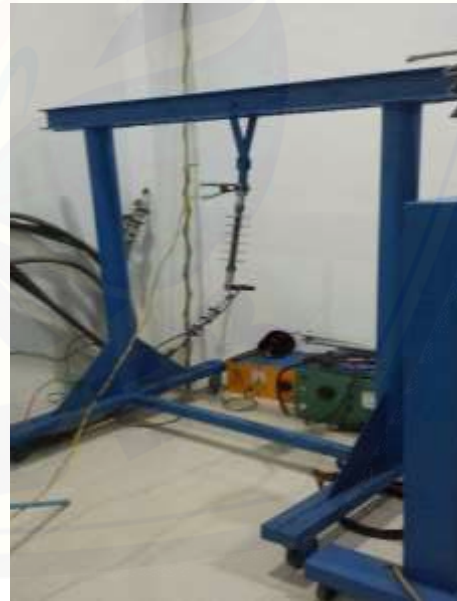
Kontrol Box Tipe 27



Pengukuran Jarak Sudut Penyemprotan



Pemasangan Isolator Polimer



Isolator Polimer Diuji



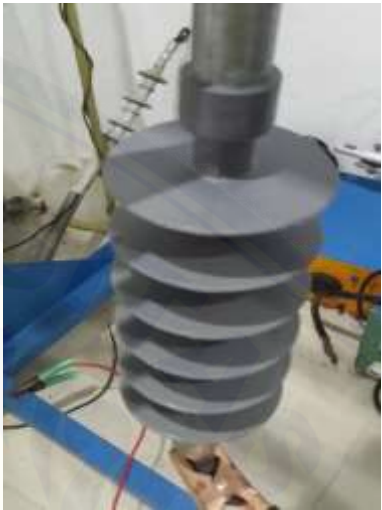
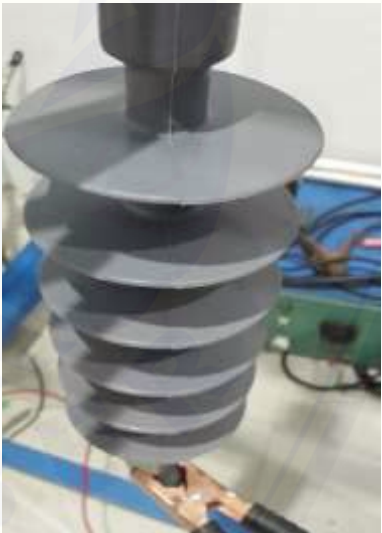
Isolator Polimer Dikeringkan







Peneliti Sedang Mengatur Kontrol Box





A. Isolator Berbahan Polimer Jenis Tarik Kondisi Kering

No.	Kondisi	Variabel	Dokumentasi
1	Tanpa polutan	-	
2	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 30°	I	
		II	

			
		<p>III</p>	
<p>3</p>	<p>Berpolutan dengan</p>	<p>I</p>	

	<p>penyemprotan sudut 60°</p>		
		<p>II</p>	
		<p>III</p>	



			
4	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 90°	I	
		II	


			
		<p>III</p>	
<p>5</p>	<p>Berpolutan dengan</p>	<p>I</p>	


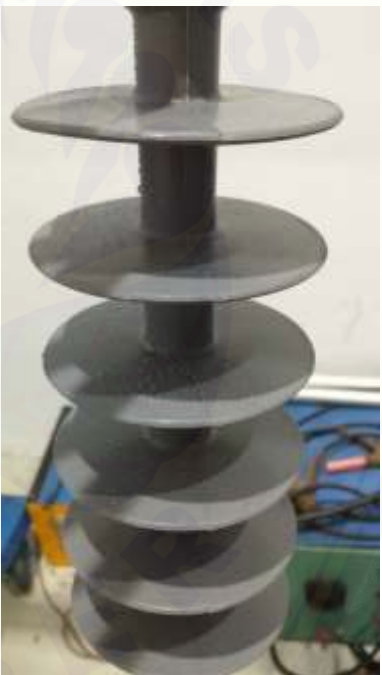
	<p>penyemprotan sudut 120°</p>		
		<p>II</p>	
		<p>III</p>	


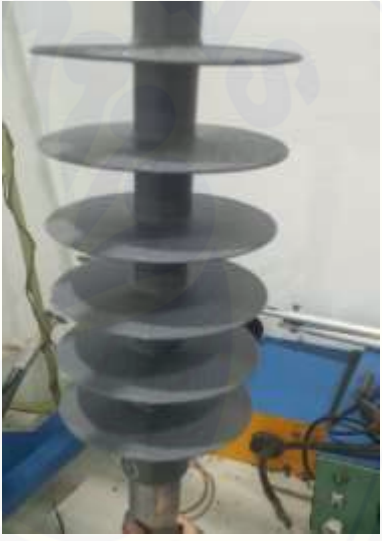



B. Isolator Berbahan Polimer Jenis Tarik Kondisi Basah

No.	Kondisi	Variabel	Dokumentasi
1	Tanpa polutan	-	
2	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 30°	I	
		II	

			
		<p>III</p>	
<p>3</p>	<p>Berpolutan dengan</p>	<p>I</p>	

	<p>penyemprotan sudut 60°</p>		
		<p>II</p>	
		<p>III</p>	

			
4	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 90°	I	
		II	

			
		<p>III</p>	
<p>5</p>	<p>Berpolutan dengan</p>	<p>I</p>	

	<p>penyemprotan sudut 120°</p>		
		<p>II</p>	
		<p>III</p>	

